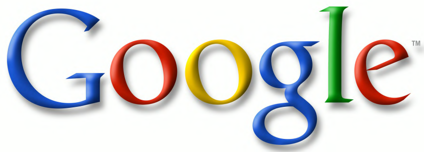
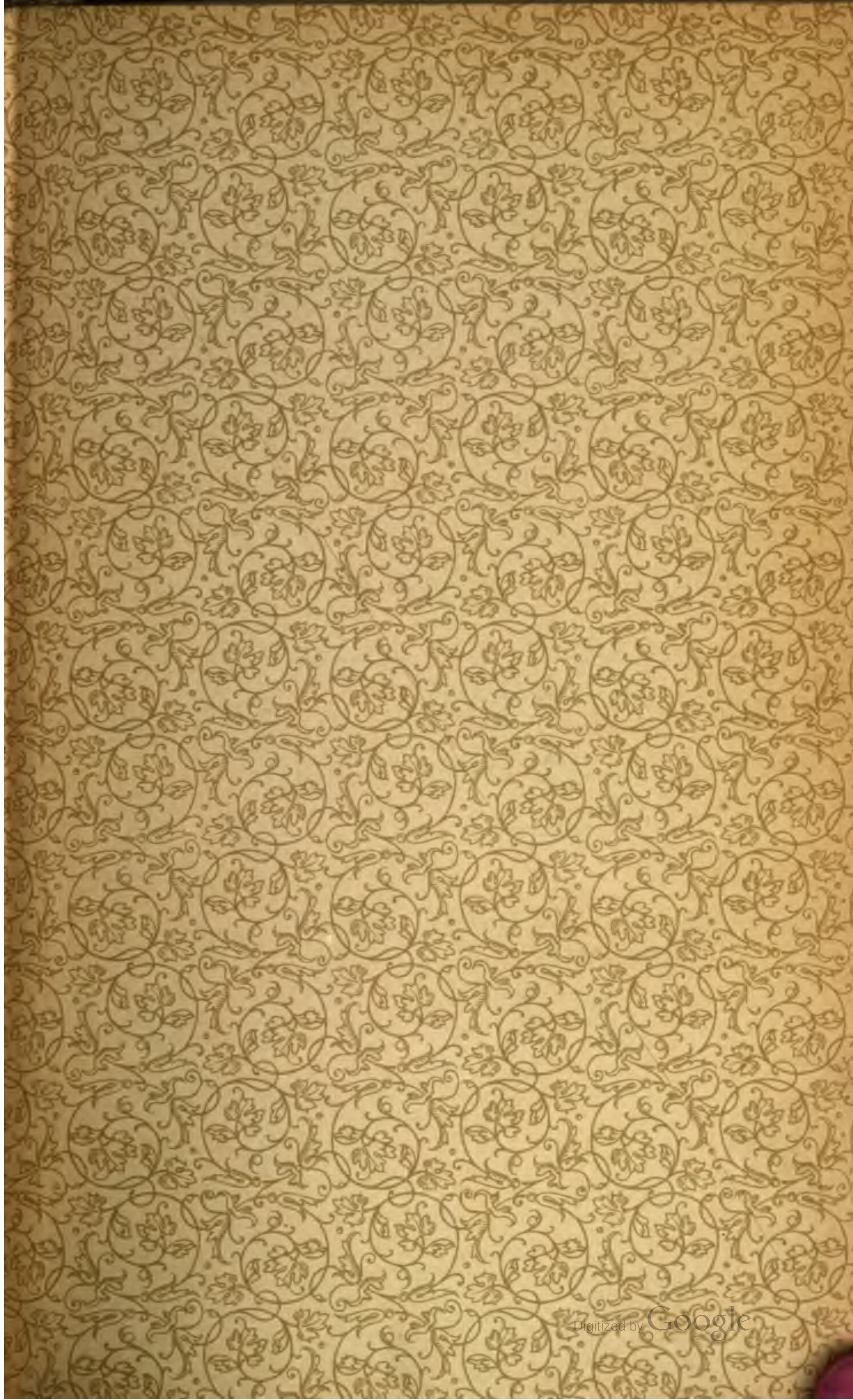




A mes anciens Professeurs

Souvenir respectueux

RAOUL LEMOINE

L'ÉLECTRICITÉ
DANS L'INDUSTRIE

RAPPORT PRÉSENTÉ A L'ASSOCIATION DES ANCIENS ÉLÈVES DES ÉCOLES SUPÉRIEURES DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE ROUEN

par

Raoul LEMOINE
INGÉNIEUR-CHIMISTE
Ancien Elève de l'Ecole Supérieure d'Industrie de Rouen
et du Laboratoire des Hautes Études

2me ÉDITION

ROUEN
IMPRIMERIE BENDERITTER
11, Rue des Champs-Maillets, 11

1890

PRÉFACE

Le mémoire que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Association des Anciens élèves des Écoles supérieures de Commerce et d'Industrie de Rouen, et traitant de l'état actuel de l'électricité dans l'industrie, n'était pas primitivement destinée à avoir une publicité plus grande que celle que comporte le bulletin de cette société.

L'accueil favorable fait à ce rapport, par les membres du Comité de l'Association, m'a décidé à en faire le tirage supplémentaire que je livre aujourd'hui à l'appréciation du public.

Je remercie donc l'Association en général et les Membres du Comité en particulier, du concours bienveillant qu'ils m'ont accordé.

Je remercie également les maisons de construction de l'accueil favorable qu'elles m'ont fait et des renseignements qu'elles m'ont donné. Toutes m'ont puissamment aidé dans mon travail, et je leur en exprime ici toute ma reconnaissance.

L'ÉLECTRICITÉ

DANS L'INDUSTRIE

Dans le mouvement scientifique et industriel qui caractérise notre époque, le fait le plus saillant est certainement l'assimilation par la pratique des résultats révélés d'abord par les recherches de la science pure, montrant ainsi que la distance entre la théorie et l'application n'est pas aussi grande que l'on avait paru le croire, N'avons nous pas vu dans ce dernier siècle, l'industrie guidée à la fois par les sciences physiques et mathématiques, prendre un essor considérable, et la télégraphie, la traction par la vapeur, l'industrie des matières colorantes dérivées des hydrocarbures, l'éclairage électrique, la téléphonie, l'électro-métallurgie ne sont elles pas autant de nouvelles applications scientifiques qui ont pris naissance de considérations d'abord purement théoriques, et se sont dé veloppées sous le contrôle incessant des sciences exactes.

De toutes, les branches de la Physique l'électricité est certainement celle qui a donné naissance aux découvertes les plus intéressantes, par suite de son aptitude, à se plier aux exigences les plus variées, et à se transformer sous tous les états que l'on peut demander au principe « énergie ».

Si nous intercalons dans un circuit électrique, une résistance s'opposant au passage du courant, il y a transformation de l'énergie, développement de chaleur et la lumière apparaît, je dirai presque naturellement. Nous verrons plus loin, que l'électricité, peut en outre devenir un producteur précieux de

force mécanique ; il ne faut donc pas s'étonner de voir ses applications aller en se multipliant sans cesse et être pour ainsi dire une source constante de découvertes nouvelles.

Je ne chercherai donc pas à donner ici une étude de l'ensemble formé par ces applications, le champ est trop vaste et dépasserait le cadre de ce travail, je laisserai de côté celles qui sont d'un intérêt trop spécial ou qui ne sont encore qu'à l'état d'études, me contentant d'exposer les principales branches qui sont d'un usage courant. Pour la facilité de ce travail, je le diviserai en 3 classes dans chacune desquelles, j'examinrai

1° La lumière électrique.

2° La téléphonie.

3° Les applications diverses.

Ne pouvant m'arrêter à examiner tous les types d'appareils susceptibles d'une même application je me suis contenté d'étudier ceux qui, ayant fait leurs preuves, et couramment employés par l'industrie, m'ont paru susceptibles des meilleurs rendements. D'ailleurs, pour permetre au lecteur de se faire une idée exacte au sujet de chacun d'eux et d'établir la comparaison, j'ai cité des chiffres provenant de résultats obtenus dans la pratique journalière, persuadé que c'était me placer dans les meilleurs conditions pour examiner des appareils industriels, mon but n'étant pas de faire un travail scientifique, mais bien de mettre le lecteur à même de juger des systèmes les plus employés.

I

LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

L'application de l'énergie électrique à la production de la lumière date de 1812, époque à laquelle sir Humphry Davy, en faisant passer le courant de deux mille couples zinc-cuivre entre deux baguettes de charbons de bois, obtint le premier arc voltaïque dont il soit fait mention. Pendant plus de trente années, l'expérience fut répetée dans les cours de physique, sans que l'idée ne vint à personne que cette découverte, bien simple en apparence, pouvait devenir le point de départ de l'une des plus belles et des plus utiles applications de l'électricité, le jour où, ayant franchi l'enceinte des laboratoires elle devait s'implanter dans le domaine industriel,et s'y substituer peu à peu aux autres modes d'éclairage.

Ce n'est qu'en 1841 que M. Deleuil essaya de donner un sens paratique à la découverte de Davy, en cherchant à la faire servir à l'éclairage des voies publiques. Il fut suivi dans cet ordre d'idées par Archereau, puis par Laccassagne, qui reprirent ses expériences le premier en 1844, le second en 1852. Les résultats obtenus ne répondirent pas à l'attente que l'on s'en était faite, et le premier moment d'engouement passé tout finit par tomber dans l'oubli. La lumière électrique ne fut plus employée que de loin en loin, et dans des cas particuliers, têls que la reconstruction du Pont Notre-Dame, le percement du tunnel du Guadarrama, ou encore pour des entreprises dans lesquelles, la nécessité d'une terminaison rapide, imposait un travail de nuit ; la question des prix de revient ne tenait alors qu'un rang secondaire, tout l'intérêt étant concentré sur la production de foyers lumineux très puissants. Malgré ces quelques applications, l'on peut dire que jusqu'à cette époque, l'on n'avait point songé à la possibilité d'éclairer d'une façon sérieuse et continue les établissements industriels. Il y avait en effet dans la production de l'énergie électrique, de grands inconvénients provenant des générateurs

dont on faisait usage, et qui, jusqu'ici avaient toujours été des piles : c'est dire que l'installation était à la fois encombrante, couteuse, d'un entretien difficile et donnait un courant dont l'intensité diminuait assez rapidement.

Les choses se modifièrent lorque l'on eut l'idée de rechercher un producteur de courant mieux approprié à l'application que l'on voulait en faire, et n'ayant pas les inconvénients que je viens de signaler.

Un premier progrès fut réalisé par l'emploi des machines magnéto-électriques, c'est-à-dire des machines capables de produire des courants par l'induction d'aimants permanents. Pixii avait construit la première machine de ce genre en 1833, depuis elle avait été successivement modifiée par Saxton puis par Clarke en Angleterre et Nollet en Belgique. En France, la machine de Nollet fut reprise par Van Malderen, et c'était le type de ce dernier que construisait la Société « l'Alliance. » En Allemagne, Werner Siemens et Halske inventèrent en 1854 une nouvelle bobine munie d'une vitesse de rotation considérable, et donnant par suite un plus fort rendement. Nous verrons que le type d'enroulement de la bobine Siemens devait être repris plus tard dans la construction des dynamos et donner naissance à une classe spéciale et bien caracterisée de ce genre de machine.

L'emploi du courant électrique, comme producteur de la lumière, commençait donc à devenir plus pratique, et c'est avec les magnétos que furent alimentés les premiers régulateurs qui ont fonctionné dans les phares ; toutefois le grand nombre des aimants permanents rendaient ces générateurs assez susceptibles de déterrioration ; en outre, ils étaient encore lourds, encombrants et d'un prix très élevé.

La question en était à ce point quand elle fit en 1869 un pas immense par la découverte par Gramme de la machine qui porte son nom.

Comme les précédentes, cette machine est basée sur l'utilisation des courants d'induction, mais son principe est tout

différent et comme il est assez simple, et qu'il a été le point de départ de toutes les dynamos de ce genre, je l'exposerai dans la suite de ce travail.

Nous voici donc vers 1870 avec un générateur électrique réunissant toutes les conditions d'intensité et de tension désirables. Grâce aux travaux d'Ampère, Faraday, Ohm, Arago, W. Thomson et Wheastone, et aux inventions de Pixii, Clarke, Nollet, Siemens et Gramme qui tous avaient contribué au perfectionnement des générateurs électriques ; ces derniers vont enfin entrer dans la pratique industrielle. C'est dans l'application des courants produits que l'on s'apercevra des aléas qui restent encore dans la question, et que l'on sera ainsi amené au perfectionnement des machines électriques et des lampes à arc, car à mesure que les facilités de production augmenteront, les exigences deviendront de plus en plus grandes et si, au commencement, l'on avait cherché des foyers d'une très grande puissance lumineuse pour éclairer de grands espaces où les ombres ne constituaient pas un inconvénient capital, en revanche, le jour où l'on voudra se servir de ce nouveau mode d'éclairage l'on s'apercevra de suite qu'il est préférable d'avoir des foyers moins intenses, afin de pouvoir les multiplier et combattre ainsi les ombres projetées par les saillies ou les colonnes du bâtiment et surtout par les transmissions, les tuyaux de chauffage et les pièces mêmes des machines employées par l'industrie.

D'un autre côté, l'application telle qu'elle était faite jusqu'alors ne permettait d'alimenter qu'une seule lampe, avec une même machine, de sorte que si l'on augmentait le nombre des foyers, il s'en suivait une élévation proportionnelle dans la dépense et l'on arrivait ainsi à des frais de premier établissement très élevés. Les recherches portèrent alors sur le moyen de placer plusieurs arcs sur le courant fourni par une même dynamo, problème qui fut résolu en faisant traverser

les électro-aimants qui réglaient la distance des charbons, non pas par tout le courant, comme cela s'était passé jusqu'alors, mais par une petite partie seulement de ce courant. J'expliquerai d'ailleurs cette modification dans l'étude des lampes à arc.

Malgré ce perfectionnement dans l'utilisation de l'énergie électrique, la force absorbée était encore très grande, la puissance lumineuse trop considérable pour les applications industrielles et surtout la fixité de la lumière laissait à désirer, ce qui constituait autant d'obstacles à l'adoption de l'éclairage électrique par un grand nombre d'industries, car il est certain que si les arcs tels qu'ils existaient alors, étaient suffisants pour l'éclairage des rues, des chantiers, et en général des ateliers où le travail n'était pas minutieux, il n'en était pas de même de la filature, du tissage et des industries similaires et les quelques applications qui furent faites alors, dans ces établissements, sont loin de réunir les conditions économiques, que l'on recherche maintenant. Pour diminuer le trop grand éclat de la lumière, et surtout pour aténuer les inconvénients provenant de son manque de fixité, l'on se servait de moyens plus ou moins ingénieux, qui faisaient perdre à peu près 60 à 70 °/₀ de la puissance lumineuse. Ainsi dans notre ville l'un des premiers tissages éclairés employait des régulateurs Serin, placés dans l'intérieur d'un petit seau destiné à renvoyer la lumière contre le plafond de la salle que l'on avait plani et blanchi, et c'est la réflexion des rayons lumineux projetés sur le plafond qui devait fournir la somme d'éclairage nécessaire.

L'on voit de suite que l'on supprimait ainsi la plupart des avantages que l'on était en droit de demander à l'électricité. La question de la division de la lumière semblait devoir se prolonger, lorsqu'apparut un nouveau mode d'utilisation du courant : l'incandescence.

Dans un récent travail présenté à l'Association des Anciens Elèves des Ecoles supérieures de Commerce et d'Industrie de Rouen, M. Levavasseur a tracé l'historique de la naissance et de la propagation de ce mode d'éclairage, et tout en laissant à Édison le mérite de ses recherches, il a revendiqué pour les vrais inventeurs de ce procédé toute la gloire qui est à leur revenir.

Il a montré les luttes qu'ont eu à subir Starr en Amérique et M. de Changy en Belgique, au moment où ils essayèrent de propager leur découverte. Starr mourut sans avoir pu l'exploiter, quant à M. de Changy qui avait commencé ses expériences en 1844 et les avait poursuivies avec opiniâtreté malgré les sujets de découragement qu'on ne lui avait pourtant pas marchandés, lorsqu'après quatorze années de travail il chargea Jobard de communiquer un aperçu de ses travaux à l'Académie des Sciences, Flourens commença par refuser l'insertion et Despretz en vint à prétendre que l'inventeur voulait faire de sa découverte un objet de lucre, il traita le sujet avec une partialité inqualifiable, et telle, que M. de Changy découragé de toutes part finit par laisser tomber son procédé.

En 1873, Lodyguine reprit les travaux de ses devanciers, puis Konn et Bouliguine, deux ingénieurs russes, se lancèrent dans la même voie, où ils furent bientôt suivis par Jablochkoff, et enfin par Édison à qui était réservé l'honneur de lancer dans l'industrie les premières lampes à incandescence que l'on devait employer ; mais, aussi quelle différence n'y avait-il pas entre les moyens d'action d'Édison à qui rien ne manquait et entre les mains duquel chimistes, ingénieurs, collaborateurs et capitaux étaient autant de gages de réussite, et ceux de ses vaillants prédécesseurs auxquels l'on avait marchandé jusqu'à une approbation après quatorze ans de recherches et de travaux, qui étaient les leurs et n'avaient rien coûté à personne.

ans avoir aucunement l'intention de chercher à diminuer

le mérite d'Édison et tout en rendant justice à son œuvre, il convient cependant de ne pas laisser dans l'oubli, ceux qui lui avaient ouvert la voie.

En 1879 Édison fit donc entrer dans la pratique industrielle, les lampes à incandescence qui permirent de résoudre en partie le problème tant cherché de la multiplication des points lumineux. Aussi à partir de ce moment nous voyons l'électricité se propager de plus en plus et la découverte d'Édison devenir le point de départ de toute une série de lampes parmi lesquelles je citerai celle de Swan, Lane Fox, Maxim, Weston, Whoodhouse et Rawson, Cruto, Gerard, Bernstein, Siemens et Khotinski, pour ne nommer que les plus connues.

Jusqu'à ces derniers temps, les lampes à incandescence furent très employées, remarquons cependant que l'incandescence n'est certainement pas le dernier perfectionnement possible dans l'utilisation du courant électrique, car si elle a permis de diviser la lumière, cet avantage a été largement compensé par la perte d'énergie nécessitée pour l'échauffement du filament incandescent comme il est facile de s'en rendre compte par l'exemple suivant : en moyenne les lampes à incandescence ont une puissance lumineuse de 16 bougies et se placent en circuit à raison de 8 par cheval, soit donc 128 bougies, mettons même 150 bougies par cheval-vapeur, tandis que la même force peut facilement alimenter un arc de 10 ampères ayant une puissance lumineuse d'environ 1000 à 1200 bougies, rendement de 8 à 9 fois supérieur à celui de l'incandescence. L'arc voltaïque utilise donc le courant dans les conditions les plus économiques, et l'on peut dire qu'au point de vue industriel, la véritable solution pratique au problème tant cherché de la multiplication des points lumineux, consisterait à obtenir ce résultat, non au moyen de l'incandescence, ce qui est maintenant réalisé, mais bien au moyen de l'arc, ce qui n'est encore qu'à l'état d'étude. Notons cependant en passant qu'un premier pas a déjà été fait dans cette voie, et

que l'on est arrivé à construire des arcs n'absorbant que 3 ampères et se plaçant en circuit avec une dépense de 2 chevaux pour 7 de ces lampes. Ceci est un point de départ et il est certain que le jour où l'on construira des lampes à arc, ne dépensant pas plus de force que les lampes à incandescence actuellement en usage, la préférence sera acquise aux premières, qui à dépense égale, donneront une bien plus grande somme de lumière. Lorsque ce résultat sera obtenu, il faudra bien convenir que l'incandescence n'aura marqué dans l'historique des applications de l'électricité, qu'une phase transitoire, au même titre que la bougie Jablochkoff qui, comme l'a si bien dit M. Vanderpol « a rappelé à ceux qui l'avaient oublié « et appris à ceux qui l'ignoraient que, si la lumière électrique « n'avait pas encore été divisée c'était la faute des régulateurs « et non celle de l'électricité. » Comme ces dernières l'incandescence aura du moins le mérite d'avoir donné lieu à des recherches, qui ne seront pas sans intérêt et qui conduiront peut-être à une modification tout à fait imprévue des appareils que nous connaissons actuellement.

Est-ce à dire que l'incandescence soit condamnée à disparaître complètement, tel n'est pas mon avis, car il y a bien des cas où son emploi est tout indiqué et je crois que les deux modes d'utilisation du courant peuvent parfaitement avoir chacun leurs applications spéciales et marcher ainsi côte à côte. Enfin jusqu'aujourd'hui une autre cause a empêché l'éclairage par arc de prendre tout l'essor auquel il est appelé, c'est le prix élevé des régulateurs qui bien souvent fait reculer l'industriel, ce dernier oubliant de mettre en regard de la plus-value du premier établissement, le bénéfice devant résulter à l'usage par suite de l'économie de force motrice.

L'on a reproché à la lumière de l'arc sa teinte un peu blafarde, remarquons cependant que ceci est une affaire toute d'appréciation car à côté de l'incandescence, le gaz paraît jaune et à son tour, à côté de l'arc, l'incandescence paraît jaune, enfin il n'est pas jusqu'à l'arc lui-même qui mis au

grand jour, ne paraisse d'un jaune rosé par rapport à la lumière solaire. L'inconvénient en question, ne sera perceptible qu'en tant que l'on sera obligé de mettre en circuit en même temps, de l'arc et de l'incandescence, car l'arc seul dans une usine produit un éclairage admirable et je dirai même que l'excès de lumière qui est la conséquence presque forcée de l'emploi des lampes à arc, permet à l'ouvrier de mieux suivre son travail. Dans les usines qui marchent la nuit, cette lumière très intense tient l'homme mieux éveillé et plus dispos, et en se substituant mieux que n'importe quelle autre à la lumière solaire, permet ainsi une sorte d'illusion, qui fait moins sentir la lassitude de la nuit.

II

Avant d'entrer dans l'étude des appareils générateurs et utilisateurs de l'électricité, examinons la façon dont se comporte un courant électrique, abstraction faite de son mode de production.

Si nous réunissons par un conducteur métallique, les deux pôles d'une source électrique quelconque, nous formerons ce que l'on nomme un circuit, c'est-à-dire la voie suivant laquelle se propagera le mouvement continu, auquel l'on a donné le nom de courant. Pour se faire une idée exacte de ses effets mécaniques, il faut se rappeler qu'un courant électrique présente une grande analogie et peut être comparé à un courant d'eau. Ainsi de même que ce dernier ne peut prendre naissance que s'il y a une certaine différence de niveau entre le point de départ et le point d'arrivée, de même en électricité, un courant ne peut exister entre deux points quelconques d'un conducteur, que si ces points sont maintenus à des potentiels différents. Or, le potentiel en électricité correspond à la pression due à la différence de niveau en hydrostatique, et il est logique d'admettre que, si le courant, dans ce dernier cas, va du point le plus haut vers le point le plus bas ; en électricité, il devra se diriger du point où le potentiel est le plus élevé, (pôle positif) au point où il est le plus bas (pôle négatif) et par analogie nous voyons immédiatement que les choses devront se passer ainsi jusqu'au moment où l'équilibre sera établi entre les points considérés, c'est-à-dire jusqu'au moment où ils auront atteint le même potentiel ou le même niveau électrique. Ce qui précède met donc en évidence ce fait bien connu ; pour qu'un courant continu puisse traverser un conducteur, il faut que les extrémités de ce dernier soient reliées à une source d'électricité capable d'entretenir d'une façon constante une certaine différence de potentiel entre les points extrêmes.

Notons en passant ces deux remarquesimportantes : 1° La force de nature encore inconnue qui donne naissance au cou-

rant et qui a reçu le nom de force électro-motrice ne doit jamais être confondue avec la différence de potentiel, car cette dernière ne saurait être prise comme la cause du mouvement puisqu'en réalité, elle n'en est que l'effet. 2° L'électricité n'a pas d'inertie, autrement dit, son mouvement n'a pas de vitesse acquise,et il cesse instantanément dès que l'on ouvre le circuit.

Lorsque le courant est produit, il faut le conduire depuis le générateur jusqu'à l'appareil qui doit l'utiliser,pour celà l'on se sert d'un fil métallique qui joue par rapport à l'électricité le même rôle que les tuyaux d'une conduite, qui amène l'eau d'un réservoir à une turbine, et la canalisation électrique présente absolument les mêmes particularités qu'une canalisation hydraulique ; ainsi, de même que dans une conduite d'eau, le frottement du liquide contre les parois fait naître une certaine résistance qui détermine une perte de charge, de même en électricité, le conducteur oppose au passage du courant une certaine résistance qui détermine une perte de tension. La comparaison entre les courants électriques et hydrauliques peut d'ailleurs être poussée plus loin ; ainsi tout le monde sait que la quantité d'eau débitée pendant un temps T est égale au produit du débit par le temps ; or Faraday a démontré que si l'on appelle

I l'intensité d'un courant et

T le temps pendant lequel il est considéré, la formule

$$Q = IT$$

établit que le débit d'un courant électrique est aussi égale au produit de l'intensité par le temps, formule identique à celle employée en hydrostatique ; enfin l'intensité d'un courant électrique doit avoir la même valeur en tous les points du conducteur, afin que l'électricité ne s'accumule pas indéfiniment dans une même section du circuit.

Les trois valeurs que nous venons de considérer dans l'étude du courant, force électro-motrice, intensité et résistance sont liées entre elles par la loi de Ohm.

$$I = \frac{E}{R} \quad (1)$$

dans laquelle

I représente l'intensité
E la force électro-motrice
R la résistance

et que l'on peut traduire en langage ordinaire en disant que: l'intensité d'un conrant est proportionnelle à la force électro-motrice et varie en raison inversement proportionnelle de la résistance total du circuit.

Cette formule permet donc de déterminer, l'une quelconque des trois quantités qu'elle contient, lorsque l'on connait les deux autres, car elle donne :

$$E = R\,I \quad (2)$$
$$R = \frac{E}{I} \quad (3)$$

Pour déterminer les valeurs de I, de E et de R, l'on a du avoir recours à certaines unités permettant de mesurer chacune d'elles ; je ne décrirai pas ici le système établi pour arriver à ce résultat, je ne puis non plus m'arrêter aux définitions de chacune des unités électro-magnétiques, dont on ne fait d'ailleurs presque jamais usage en pratique, je me contente simplement de citer le nom et l'usage des plus connues dans l'industrie, et pour donner une idée de leur puissance je les comparerai à des exemples pris dans les appareils courants et connus de tous.

La force électro-motrice d'un courant s'exprime en *volts*, et cette mesure correspond à peu près à la force électro-motrice d'un élément Daniell ; Ainsi un élément Bunsen donne de 1 volt 8, à 1 volt 9, et un accumulateur Planté de 1 volt 9 à 2 volts.

La résistance s'exprime en *ohms*, et l'on peut se faire une idée de cette valeur en se rappellant qu'elle équivaut à celle denviron 100 m. de fil de fer télégraphique de 4 m/m de diamètre, ou à 48 mètres de fil de cuivre pur de 1 m/m de diamètre.

Enfin, l'intensité s'exprime en *ampères*. Une lampe de 1,000 bougies absorbe 8 ampères, et les lampes à incandescence les plus généralement employées de 0,6 à 2 ampères.

Les machines a galvanoplastie donnent des courants qui peuvent aller jusqu'à 3,000 ampères

Ces quelques chiffres permettent donc de se faire une idée sur la valeur réciproque de chacune des unités ci-dessus, *volt*, *ohm* et *ampère* ; ce sont celles qui sont le plus souvent mises en contribution par la pratique. Cependant, je dois remarquer qu'il en est deux autres dont la connaissance est indispensable pour l'étude des applications électriques. C'est l'unité de quantité et celle de capacité.

L'unité de quantité est le *coulomb*, c'est la quantité d'électricité qui traverse un conducteur pendant une seconde, lorsque l'intensité du courant est de un ampère. Pour la commodité de l'usage, l'on emploi souvent l'*ampère-heure* comme unité de quantité, mais alors il faut remarquer que cette valeur exprime la quantité d'électricité qui traverse un circuit dans une heure, lorsque l'intensité du courant est de 1 ampère ce qui représente donc une valeur 3,600 fois plus considérable que le coulomb. Aussi, en disant qu'un appareil peut fournir, par exemple 100 ampères-heure, c'est dire qu'il peut fournir 360,000 coulombs.

L'unité de capacité est le *farad*, moins souvent employé que les unités précédentes par la pratique industrielle, et l'on estime généralement la capacité d'un accumulateur par exemple, en ampères-heure, ce qui revient à indiquer la quantité d'électricité que peut fournir l'appareil pendant sa décharge et l'on a ainsi une idée de contenance par la mesure du contenu.

Lorsqu'un courant d'eau est utilisé à actionner une roue hydraulique en dessus, pour se faire une idée du travail développé, l'on fait le produit de la masse par la hauteur de chûte; l'électricité se comporte absolument de même, et si nous considérons une certaine quantité d'électricité Q traversant un conducteur entre deux points dont la différence de potentiel ou de niveau électrique est E, le travail développé sera aussi égal à la quantité d'électricité multipliée par la différence de potentiel, ou si nous appelons W ce travail, nous aurons

$$W = Q\ E$$

En divisant cette valeur de W par 9,81 représentant en mètres l'accélération due à la pesanteur, nous aurons l'expression du travail en kilogrammètres.

$$W = \frac{Q\ E}{9{,}81}$$

Et le quotient divisé lui même par 75 donnera l'expression du travail en chevaux-vapeur.

$$W = \frac{Q\ E}{9{,}81 \times 75} = \frac{Q\ E}{736}$$

Or, Q est exprimé en coulombs et E en volts, donc, pour avoir en chevaux-vapeur le travail d'un courant électrique, l'on divise le nombre de volts-coulombs qu'il peut fournir par 736.

III

Dans toute installation d'éclairage électrique il y 3 points essentiels à considérer.

1° Le générateur d'électricité ;

2° Le conducteur ou autrement dit la partie reliant le générateur au transformateur;

3° L'utilisateur ou la lampe destinée à la transformation de l'énergie électrique par interposition dans le courant d'une grande résistance, qui est portée à l'incandescence et produit la lumière.

J'ai montré dans un chapitre précédent la marche suivie par les électriciens, dans les découvertes successives de chacune des deux parties principales : le générateur et l'utilisateur, et j'ai dit que les premières machines employées, furent celles dans lesquelles le champ magnétique était composé par des aimants permanents et appelées, pour cette raison, machines magnéto-électriques, ce n'est que beaucoup plus tard que l'on eut l'idée de produire le champ magnétique au moyen d'électro-aimants, et l'on a appelé ces dernières machines dynamo-électriques. Bien que d'invention beaucoup plus récente, et malgré la dépense d'énergie nécessaire pour influencer les électros, ces machines ont prévalu et sont restées les seules employées dans l'industrie, nous allons voir par la suite pourquoi on leur a accordé la préférence,

Quelque soit la composition du champ magnétique (1) les machines électriques reposent toutes sur le même principe que les physiciens énoncent comme suit :

(1) La présence d'un aimant ou d'un corps électrisé, modifie l'état de l'espace environnant puisque un autre aimant ou un autre corps électrisé, placés dans les environs du premier, subit une attraction ou une répulsion. La portion de l'espace dans laquelle se fait sentir cette action, a reçu le nom de champ-magnétique, et faisant abstraction de la cause qui lui donne naissance, on considère les effets comme produits par le champ lui-même ; cette manière de voir étant plus simple et permettant d'envisager les phénomènes à un point de vue plus général.

Lorsqu'on fait mouvoir dans un champ magnétique un conducteur faisant partie d'un circuit fermé de façon à modifier le nombre des lignes de force (2) *qui le coupent, ce conducteur devient le siège d'un courant électrique induit.*

Ce que nous traduirons en disant que toutes les fois que l'on éloigne ou que l'on approche d'un champ magnétique, un conducteur, il se développe dans ce conducteur un courant électrique.

Je rappellerai de suite que les courants ainsi produits présentent le double caractère, d'avoir une durée très courte et une intensité considérable par rapport à celle du courant inducteur. Nous voyons donc immédiatement qu'une machine électrique devra être disposée de façon à pouvoir reproduire, un grand nombre de fois, le rapprochement ou l'éloignement de l'induit par rapport à l'inducteur. de façon à multiplier autant que possible les phénomènes d'induction qui se produisent à chaque fois, condition qui peut d'ailleurs être mise en évidence au moyen de la relation suivante :

Si l'on appelle :

H l'intensité du champ magnétique;

L la longueur du conducteur ;

V sa vitesse ;

α l'angle qu'il fait avec les lignes de force du champ ;

θ son angle de déplacement avec la direction des forces magnétiques, l'on a théoriquement pour expression de la force électro-motrice moyenne développée par la machine, la relation.

$$E = HL \operatorname{Sin} \alpha \, V \cos \theta \quad (4)$$

(2) On appelle ligne de force une ligne telle que la tangente en chacun de ses points donne la direction de la force au point considéré, elle indique donc ici la direction de l'action magnétique qui est produite par un aimant, au point que l'on considère Je rappelle que l'existence de ces lignes n'est pas purement hypothétique, et elles sont mises en évidence au moyen des fantômes magnétiques étudiés par Faraday.

Or, la pratique a démontré que le maximun était obtenu lorsque

$$\text{Sin. } \alpha = 1 \text{ ou } \alpha = 90$$
$$\text{Cos. } \theta = 1 \text{ ou } \theta = 0$$

en d'autres termes lorsque le conducteur coupe normalement les lignes de force du champ magnétique.

D'un autre côté la relation (4) montre que la force électromotrice E est fonction, à la fois, de l'intensité du champ, de la vitesse linéaire du conducteur et de la longueur du fil des bobines induites. Donc, comme je le disais plus haut, pour obtenir une grande valeur pour la force électro-motrice, l'on est amené à donner à l'induit des machines la plus grande vitesse linéaire possible, mais les conditions pratiques de marche et de sécurité indiquent une limite que l'on ne peut guère dépasser, et nous verrons par la suite que les constructeurs cherchent au contraire à réduire la vitesse angulaire le le plus possible; remarquons déjà cependant que pour une même *vitesse angulaire* de deux dynamos, celle-là sera dans les meilleurs conditions, dont l'induit aura un plus grand diamètre, puisque ce sera celle dont la *vitesse linéaire* sera plus grande.

La relation (4) montre également que plus le champ magnétique est puissant, plus la force électro-motrice développée est considérable ; mais là encore il y a une limite imposée par les conditions d'économie, puisque l'énergie soustraite pour influencer les inducteurs, constitue une perte pour le courant principal.

C'est dans la combinaison, plus ou moins rationnelle des deux conditions précédentes dont les constructeurs se sont inspirés, que nous chercherons la préférence à accorder à leurs machines, car la troisième cause qui vient influencer le rendement, la longneur du fil des bobines induites, peut être obtenue de plusieurs manières, soit en donnant un grand diamètre à l'anneau ce qui permet d'y enrouler un plus grand nombre de spires, soit en employant l'enroulement par tambour, ce qui donne plus de longueur par spire, soit de tout

autre façon, ceci étant variable suivant les cas, et nous n'avons donc bien à considérer que l'influence de la vitesse et celle de l'intensité du champ.

Remarquons en passant que dans la relation (4) la valeur de E n'est pas constante, elle varie à tout moment, d'abord par suite des variations de vitesse de l'induit, puis par l'effet des actions réciproques de l'inducteur et de l'induit, de sorte que pour avoir une formule pratique, il faudrait affecter celle précédente d'un cœfficient.

Dans les machines magnéto-électriques la puissance du champ magnétique était forcément limitée à ce que pouvaient fournir les aimants, qui, d'un autre côté, n'étaient pas absolument permanents, cette faiblesse des inducteurs limitait la puissance des machines et les a fait abandonner, malgré la façon plus économique dont on produisait le champ magnétique, et bien qu'on puisse obtenir avec les magnétos un rendement presque aussi élevé qu'avec les dynamos.

L'on nomme machines dynamo-électriques celles dans lesquelles les inducteurs sont composés par des électro-aimants qui présentent à la fois le double avantage de pouvoir donner au champ toute la puissance nécessaire, et d'en graduer l'intensité suivant les besoins.

L'armature d'une machine est la partie tournante, c'est-à-dire celle présentant le conducteur à l'action du champ magnétique. Comme je l'ai déjà fait remarquer l'armature est astreinte à passer rapidement et aussi près que possible des pôles des électro-aimants, d'un autre côté, elle doit être disposée de façon à réduire les résistances inutiles, par suite de sa forme et de son enroulement, et nous verrons dans la suite que la forme de l'armature n'est pas indifférente, mais constitue, au contraire, un des points principaux qui viennent influencer le rendement. L'on a même, en partant de cette manière de voir, établi une classification des dynamos actuellement en usage. Ainsi l'on a :

Les dynamos à anneau dont le type le plus connu est la machine Gramme, les dynamos à tambour représentées par la machine Edison, les dynamos à disque tels que les machines Brush et Ferranti et celles à sphère comme le type de Thomson-Houston.

Dans cet ordre d'idée les machines actuellement eu usage peuvent toutes être ramenées à l'une ou l'autre des classes précédentes, et elles se rattachent comme principe à chacun des types que je viens d'énumérer ; la plupart du temps, quelques modifications de construction ou l'application un peu plus rationnelle du même principe, constituent les seules différences à établir entre les dynamos d'une même classe.

Le champ magnétique des dynamos étant produit par des électro-aimants, il s'agit de les exciter le plus simplement et le plus économiquement possible. Le courant nécessaire à cet effet peut être fourni par une source extérieure indépendante de la machine principale, ou bien être fourni par cette dernière elle-même. Dans le premier cas, la machine est dite à excitation séparée, et dans le second cas, on dit qu'elle est auto-excitatrice.

Il existe plusieurs manière de réaliser cette auto-excitation et suivant que l'on adopte l'un ou l'autre des cas suivants, la dynamo porte une dénomination spéciale que je vais indiquer.

1° Lorsqu'on fait passer la totalité du courant par les inducteurs avant de l'envoyer dans le circuit extérieur, la machine est dite dynamo-série, ce genre de machine est plus simple de construction et moins coûteux que les suivantes, mais elles sont d'un emploi moins grand, car la facilité avec laquelle peut se produire, le renversement des pôles, dans la plupart des applications, et notamment dans celles électro-métallurgiques, les rend impropres à cet usage.

Il en est de même lorsqu'on veut appliquer ces machines au chargement des accumulateurs. Ainsi, lorsqu'une dynamo de ce genre alimente un certain nombre de piles secondaires, son amorcement se fait assez facilement sous l'influence de la petite quantité d'électricité, provenant du déchargement incomplet de la batterie d'accumulateurs, et les choses se passent normalement jusqu'au moment où la force, contre électro-motrice de ces derniers, atteint une certaine valeur, mais alors, il suffit de la moindre variation de régime, pour intervertir les pôles de la machine et renverser ainsi le sens du courant.

M. A. Witz a observé un phénomène analogue dans un transport de force, fait avec deux dynamos Edison identiques et ne différant entre-elles que par le mode d'excitation, la génératrice était une série-dynamo et la réceptrice à excitation séparée, Lorsque les machines ont pris leur allure normale, si l'on diminue l'effort à vaincre, la réceptrice accélère son mouvement et à égalité de champs-inducteurs elle tend à prendre la même vitesse que la génératrice; en même temps la force contre électrò-motrice augmente et l'intensité du courant diminue. Alors, la plus légère variation de vitesse suffit pour intervertir les pôles de la génératrice, et à partir de ce moment la réceptrice prend un mouvement périodique, alternatif, exécutant indéfiniment quelques tours à droite, quelques tours à gauche, avec une étonnante régularité. Il faut pour éviter ce phénomène, réduire le champ magnétique de façon à empêcher toute augmentation de vitesse. Le caractère le plus saillant de cette rotation périodique intervertie, dit M. Witz, est le suivant. Lorsque la réaction de la réceptrice a provoqué le renversement des pôles de la génératrice, elle épuise d'abord l'énergie de son volant, puis son mouvement change de signe et elle tourne en sens opposé jusqu'à ce que sa vitesse ait atteint une valeur suffisante pour reprodùire le phénomène. Or, cette vitesse est de beaucoup inférieure à celle nécessaire pour que la force contre électro-motrice de

vienne égale à celle de la géněratrice. Ainsi, lorsque la génératrice marche à 1871 tours et 10, 3 volts, la réceptrice n'atteint au maximum que 252 tours et 0,98 volts. Comme il est facile de le voir par les données précédentes, les applications des dynamos excitées en tension sont donc restreintes et leur usage demande à être surveillé.

Le second mode d'excitation consiste à n'envoyer dans les inducteurs qu'une partie du courant total au moyen d'une dérivation prise sur les bornes de la machine qui est alors dite à excitation dérivée. Ce genre de machine est très apte à la production du courant électrique destiné à l'éclairage car elle fournit, en quelque sorte, une énergie proportionnée au travail demandé; en effet, si nous supposons que l'on intercale dans le circuit extérieur une certaine résistance, la quantité de courant qui passe par les électros augmente aussitôt, le champ produit devient plus intense, et par suite la force électro-motrice de la machine augmente, et la production croît donc avec la dépense.

Ce genre d'excitation tend à se répandre de plus en plus et est surtout réservé pour les fortes machines, il est très utile lorsqu'il peut se produire une force contre électro-motrice, dans le circuit extérieur car il évite alors l'interversion des pôles, inconvénient que j'ai signalé pour les séries-dynamo. Dans les machines disposées en dérivation, l'on intercale, généralement, dans le circuit dérivé un régulateur qui permet de gouverner le courant circulant autour des inducteurs et par suite la tension aux pôles. Ces dynamos sont surtout employées pour la galvanoplastie et l'éclairage, soit mixte, soit par incandescence seule.

Si l'on combine les deux systèmes d'excitation précédents, c'est-à-dire, si l'on enroule les inducteurs, à la fois, d'un fil gros parcouru par le courant principal, et d'un fil fin traversé

seulement par une dérivation, prise sur les bornes de la machine, l'on obtient un troisième mode d'excitation, participant à la fois des deux précédents, mais ayant des caractères distinctifs et auquel l'on a donné le nom d'enroulement composé, ou en double circuit, ou plus généralement d'enroulement Compound. Le principe de ces machines est le suivant: Avec le gros fil donnant l'excitation en série, la force électromotrice diminue quand la résistance extérieure augmente, au contraire, avec le fil fin donnant l'excitation dérivée, elle augmente avec la résistance du circuit extérieur, les résultats sont donc opposés et c'est par la combinaison rationnelle de l'enroulement et de la longueur de chacun des fils que l'on est arrivé à réduire au minimun les variations de cette force électro-motrice. Ce qui caractérise cette disposition c'est donc la tension constante que l'on obtient aux pôles.

Remarquons cependant qu'il ne faudrait pas croire que la tension d'une machine, soit forcément invariable parce qu'elle est à enroulement Compound, car la condition essentielle pour arriver à ce résultat, est que *la vitesse du moteur actionnant la machine soit elle-même constante*, et c'est-là un des inconvénients de ce genre d'excitation, l'on a cherché à y remédier en employant,comme pour les machines précédentes,un régulateur que l'on place sur le circuit,dérivé afin de permettre de régler le courant lorsque la vitesse vient à varier.

Dans l'industrie l'on a souvent besoin d'alimenter à l'aide d'une même source, un certain nombre d'appareils électriques différents et il faut que chacun d'eux reçoive toujours la quantité qui lui est nécessaire et puisse fonctionner indépendamment des autres, c'est-à-dire, ne soit pas influencé par leur arrêt ou leur mise en marche. Il faut donc que le générateur d'électricité soit muni d'un appareil régulateur permettant de proportionner le débit à la consommation, et de fournir plus ou moins de courant suivant le nombre d'appareils en fonction. L'enroulement Compound permet de réaliser ces condi-

tions, car d'après les lois de distribution des courants en dérivation, il est évident que pour que tous les appareils, en en quelque nombre qu'ils soient, reçoivent toujours la même quantité d'électricité il suffit de maintenir à une valeur, constante et déterminée, la différence de potentiel aux pôles de la source, ce que l'enroulement à double circuit permet bien d'obtenir. Il est vrai que l'on peut arriver au même résultat si l'on place tous les appareils en série dans le circuit extérieur, mais alors, ce n'est plus la différence de potentiel, mai l'intensité du courant qu'il faut maintenir constante. En résumé, bien que le type d'enroulement, dit Compound, soit plus couteux que les autres, et que son emploi exige une plus grande dépense d'énergie, il est, comme nous venons de le voir, éminemment apte à permettre de nombreuses applications du courant électrique, et d'un autre côté il permet, dans une installation d'éclairage par incandescence, d'éteindre en pleine marche un certain nombre de foyers, sans que ceux restants aient à en souffrir et sans que l'on ait besoin de s'occuper de la dynamo ; c'est surtout cette dernière propriété qui lui a valu la grande extension qu'il a pris dans ces derniers temps, où la plupart des applications d'éclairage ont été établies au moyen de l'incandescence.

Avant de quitter la question des généralités concernant les machines dynamo-électriques, je rappellerai les quelques faits suivants dont j'aurai l'occasion de reparler en traitant de types particuliers.

Comme toutes les autres machines industrielles les dynamos ont un rendement qui peut varier dans des limites assez élevées, car il ne faut pas croire que ces machines doivent ou peuvent rendre électriquement toute l'énergie mécanique qu'elle consomment puisqu'un assez grand nombre de causes viennent influencer leur marche. En outre de la perte résul-

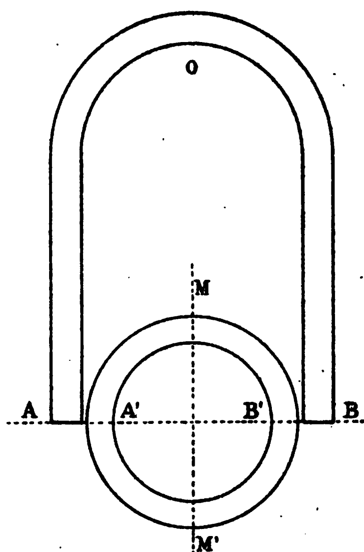


Fig. 1.

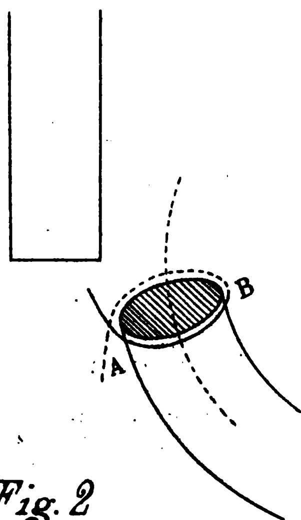


Fig. 2

M
R
R
S
S
A
A'
B'
B
R
R
S
S
M'

Fig. 2

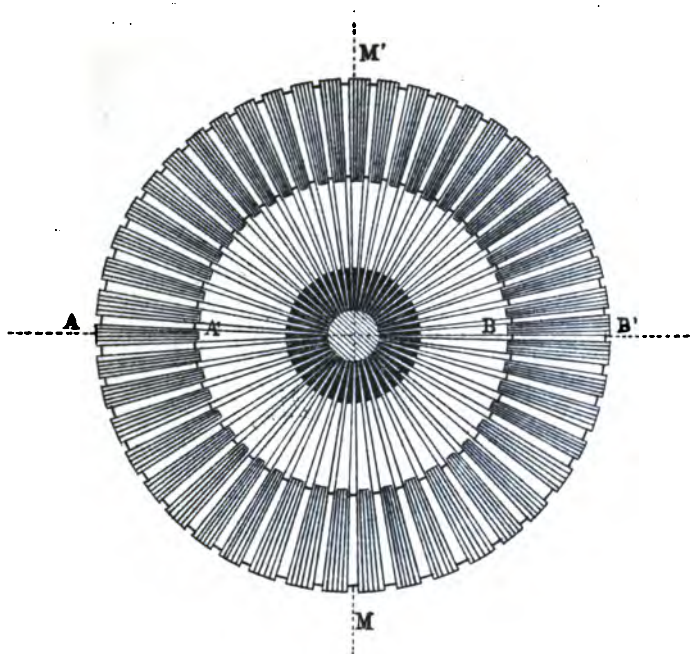


Fig. 3.

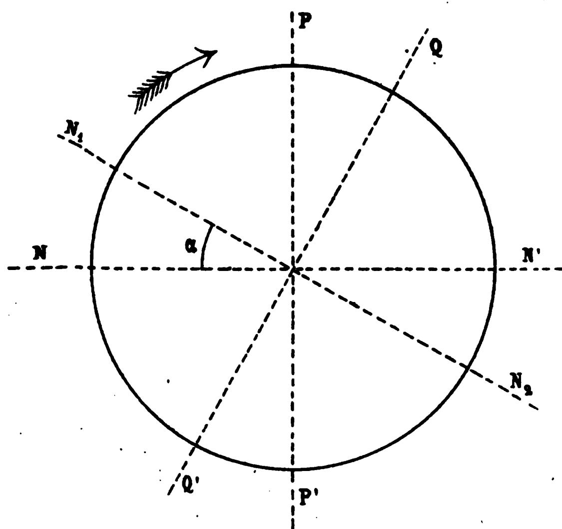


Fig. 5.

tant de la transformation du travail mécanique, en énergie électrique, il y a encore le déficit provenant de la transformation en chaleur dans l'intérieur de la machine, de l'énergie électrique absorbée par la résistance du fil de l'induit et de l'inducteur. Enfin, les frottements et les résistances passives viennent encore s'ajouter aux causes précédentes et diminuer le rendement.

Lorsqu'elles sont bien établies, le travail absorbé par les résistances mécaniques dans les dynamos, ne surpasse guère plus de 5 °/₀ du travail total disponible, le surplus, c'est-à-dire le travail transformé peut être exprimé par la relation :

$$T^{kgm} = \frac{E\,I \times R\,I^2}{G}$$

dans laquelle

E est la différence de potentiel en volts ;

I l'intensité ;

D'après cette relation on voit que l'énergie disponible est

$$\frac{E\,I}{G}$$

$R\,I^2$ constitue justement la perte due à l'échauffement dont je parlais plus haut ; elle peut être rendue aussi faible que possible, en réduisant la résistance intérieure de la machine.

L'expression

$$T = \frac{E\,I}{G}$$

est le rapport du travail électrique utile, disponible aux bornes de la machine, aux travail mécanique total dépensé sur l'arbre, c'est-à-dire, le rendement industriel. Les bonnes-machines ont un rendement de 85 à 90 °/₀ et quelquefois même plus élevé.

L'on a quelque fois besoin de connaître le rendement électrique, c'est-à-dire, le rapport de la puissance électrique disponible aux bornes à la puissance électrique totale déve-

loppée dans la machine, d'ailleurs, alors même que ce ne serait que comme indication cela peut être utile, aussi, toutes les fois que cela me sera possible, je l'indiquerai pour les types dont je parlerai plus loin.

IV

Avant détudier les principales machines en usage dans l'Industrie, je vais donner ici la théorie de l'une d'elles, et tant au point de vue de la simplicité qu'à celui de l'ordre chronologique, je choisirai de préférence la machine Gramme.

La dynamo Gramme réunit à la fois l'induction des aimants sur le fer et sur les hélices, et ces deux effets en se superposant, font que cet appareil, sous un volume restreint, produit cepèndant des effets d'une grande énergie.

Avant d'entrer dans la description de cette machine, nous allons en examiner le principe.

Si un anneau de fer doux A O B (Fig. 1) est placé entre les branches d'un aimant, l'influence des pôles A et B détermine dans le fer doux des pôles AA' BB' en face des pôles de l'aimant et les points neutres se trouvent en M et M' ; en un mot, l'anneau se comporte comme deux aimants réunis par leurs pôles de même nom.

Supposons cet anneau fixe et une petite spirale de fil en roulée autour et astreinte à passer successivement par chacune des positions A M B, M' A' pour parcourir la circonférence de l'anneau, et examinons ce qui va se produire dans chacune de ces positions (Fig. 2).

Pour bien comprendre cette théorie, je rappelle les deux principes suivants que l'on démontre en physique :

(1°) Au pôle boréal d'un aimant les courants particulaires d'Ampère sont tournés dans le sens des aiguilles d'une montre et au pôle austral ils sont dirigés en sens contraire.

(2°) Quand le magnétisme augmente les courants d'induction sont inverses, et quand le magnétisme diminue les courants sont directs.

Ceci posé, si nous figurons, au moyen des flèches sur chacun des pôles, le sens des courants particulaires d'Ampère et que nous supposions le point de départ de la spire en A, nous voyons :

1° Qu'une se dirigeant de A vers M, la spire s'éloigne du pôle, donc les courants sont directs, c'est-à-dire, de même même sens que ceux du pôle A ;

2° Qu'en passant de M vers B la spire se rapproche du pôle, or a un rapprochement correspond un courant inverse, c'est-à-dire de sens contraire à ceux du pôle B.

3° De même en allant de B vers M' il y a éloignement, le magnétisme diminue, les courants sont donc directs et de même sens qu'en B' ;

4° Enfin, dans le passage de M' vers A' le magnétisme augmente et les courants sont de sens contraire à ceux de A'.

L'examen de la figure nous montre maintenant que tous les courants qui ont pris naissance dans le demi-cercle de droite sont de même sens et vont de S vers R, contrairement à tous ceux qui ont été développés dans le demi-cercle de gauche qui vont tous de R vers S. Si nous recueillons donc en M et M', d'une façon quelconque, tous les courants produits, nous aurons à chacun de ces points, la somme de ceux qui auront été développés dans chacun des demi-cercles de droite ou de gauche et qui en M seront de sens contraire à ceux recueillis en M'.

Pour la simplicité de la démonstration nous n'avons examiné qu'une seule spire, disposée sur le pourtour de l'anneau et nous n'avons analysé que l'influence de cet anneau magnétisé par les pôles de l'aimant, sur les bobines qui l'entourent, en réalité, l'action est plus complexe, car nous avons en outre à considérer l'effet produit directement par les pôles de l'aimant.

Remarquons que toutes les parties des spires regardant l'anneau sont, jusqu'à leur milieu, toutes dirigées suivant un certain sens, tandis que l'autre moitié est en sens contraire.

L'aimant fera donc naître dans toutes les demi-spires A un courant qui sera de sens contraire à celui produit dans les demi-spires B. Il t évident que les courants produits en A,

seront d'intensité supérieure à ceux produits en B, qui est plus loin du pôle et pour lequel l'anneau en fer, placé intérieurement de l'hélice, diminue encore l'action du magnétisme. La différence entre ces deux actions sera un courant, qui viendra s'ajouter à celui produit dans la spire sous l'influence de l'anneau.

Nous remarquerons, dès maintenant, que dans ce genre de machine toute la partie du conducteur, située dans la circonférence intérieure de l'anneau, constitue une sorte d'espace nuisible développant une résistance, que l'on devait chercher à amoindrir le plus possible et même à faire disparaître, et ceci explique les recherches faites pour découvrir une autre méthode d'enroulement ou une disposition différente des inducteurs, ne donnant pas naissance à cet espèce de contre-courant. Ce fut le point de départ des modifications qui ont été apportées à la machine Gramme.

Quoiqu'il en soit, nous voyons que dans ce genre de dynamo l'anneau en fer doux a pour effet d'agir à la fois, comme inducteur, comme écran-magnétique et comme excitateur de l'aimant inducteur.

Si au lieu de supposer l'anneau fixe et les spires en mouvement, comme nous l'avons fait pour la simplicité de la démonstration, nous fixons, comme cela se fait en pratique, la spirale à l'anneau et que nous impliquions à l'ensemble ainsi constitué, un mouvement rapide de rotation autour d'un axe O, perpendiculaire au plan de la figure, les phénomènes resteront les mêmes, puisque dans ce cas, les doubles pôles A A', B B', occuperont toujours une position fixe dans l'espace, et la spirale sera encore amenée à passer par chacun des points que nous avons examiné par rapport aux deux pôles. C'est ce mouvement plus facile à réaliser que l'on a adopté et l'on a enroulé sur l'anneau, non pas une seule spire, mais toute une série, comme l'indique la figure 3, cette disposition augmentant l'effet produit puisque les spires qui se trouvent en même

temps dans la même circonférence, sont parcourues par des courants induits de même sens, qui s'ajoutent et produisent un courant résultant égal à leur somme.

J'ai dit plus haut que pour recueillir les courants produits, il suffisait de disposer sur la ligne neutre M M' un moyen quelconque permettant d'enlever, à chaque spire, l'électricité dont elle s'était chargée, pendant son passage dans les demi-conférences de droite ou de gauche. Il est facile de voir que pour réaliser cette condition, bien simple en apparence, l'on a dû avoir recours à un artifice car la vitesse du passage des spires, dans la ligne neutre, ne permettait pas de leur enlever directement l'électricité dont elles étaient chargées. Pour rendre ce moyen pratique, l'on a disposé sur l'axe même de rotation une couronne composée d'autant de lames de cuivre qu'il y avait de spires, enroulées sur l'anneau, à peu près comme le montre la figure 3, chaque lame étant placée perpendiculairement aux génératrices de l'axe, et isolée de la suivante. A chacune de ces bandes l'on a soudé le bout finissant d'une bobine et le bout commencant de la bobine suivante, de façon que la petite plaque serve de liaison entre deux bobines consécutives. Dans ces conditions, le système peut être assimilé à un ensemble d'éléments de piles réunies en série et ayant leurs pôles sur les lignes neutres. Si nous réunissons donc les pôles de l'ensemble des éléments de droite, traversés par un courant positif par exemple et les pôles des éléments de gauche, traversés par conséquent par un courant négatif, nous formerons ainsi pour les deux couples, l'association en batterie et un courant continu circulera dans le fil qui complètera le circuit.

D'un autre côté, le sens de la rotation restant le même, il est évident que le sens du courant sera invariable, puisqu'à chaque moment les choses se passeront toujours de la même façon par suite de la symétrie de l'appareil.

La couronne dont nous venons de parler, composée de plaques de cuivre destinées à relier ensemble les hélices en-

roulées sur l'anneau, porte le nom de *collecteur*, nom très approprié à son usage, puisque c'est là où viennent se réunir les courants produits.

Pour recueillir ces derniers, l'on dispose sur la génératrice du collecteur correspondant à peu près à la ligne neutre, un faisceau méplat de fils de cuivre, qu'un ressort tient constamment appuyé sur le collecteur. L'on a donné à ces frotteurs le nom de balais, leur forme et leur position les astreint à poser à la fois sur plusieurs des lames du collecteur, afin d'éviter les interruptions qui se produiraient infailliblement au moment de leur passage sur les séparations isolantes, si leur section ne les mettait déjà en contact avec la lame suivante.

La fig. 4 représente une garniture complète de balais avec leurs supports.

Comme il est facile de s'en rendre compte, les balais I sont maintenus dans des gaînes H H au moyen des vis de pression G G et l'ensemble est monté sur un axe B B, qui est fileté à l'une de ses extrémités et muni de plateaux, dont l'un est fixe et dont l'autre mobile peut venir se serrer au moyen d'un écrou A contre les joues d'un support situé sur la machine elle-même. Un ressort D permet au moyen d'une vis E d'appliquer les balais sur le collecteur et de déterminer un contact intime entre ces derniers. Chaque constructeur adopte une disposition particulière pour ses porte-balais, celle représentée fig. 4 est surtout employée par la C[ie] Continentale Edison. Les balais supérieurs y sont figurés en fil, tandis que ceux inférieurs sont en toile métallique, cette dernière disposition tend à se généraliser de plus en plus, les frotteurs en toile métallique offrant l'avantage de déterminer une usure moins rapide du collecteur,

Théoriquement, la position des balais devrait être fixe et coïncider exactement avec le plan de la ligne neutre. En pratique,il n'en est pas de même; leur calage est variable et l'on a l'habitude de régler leur position en cherchant par tâtonne-

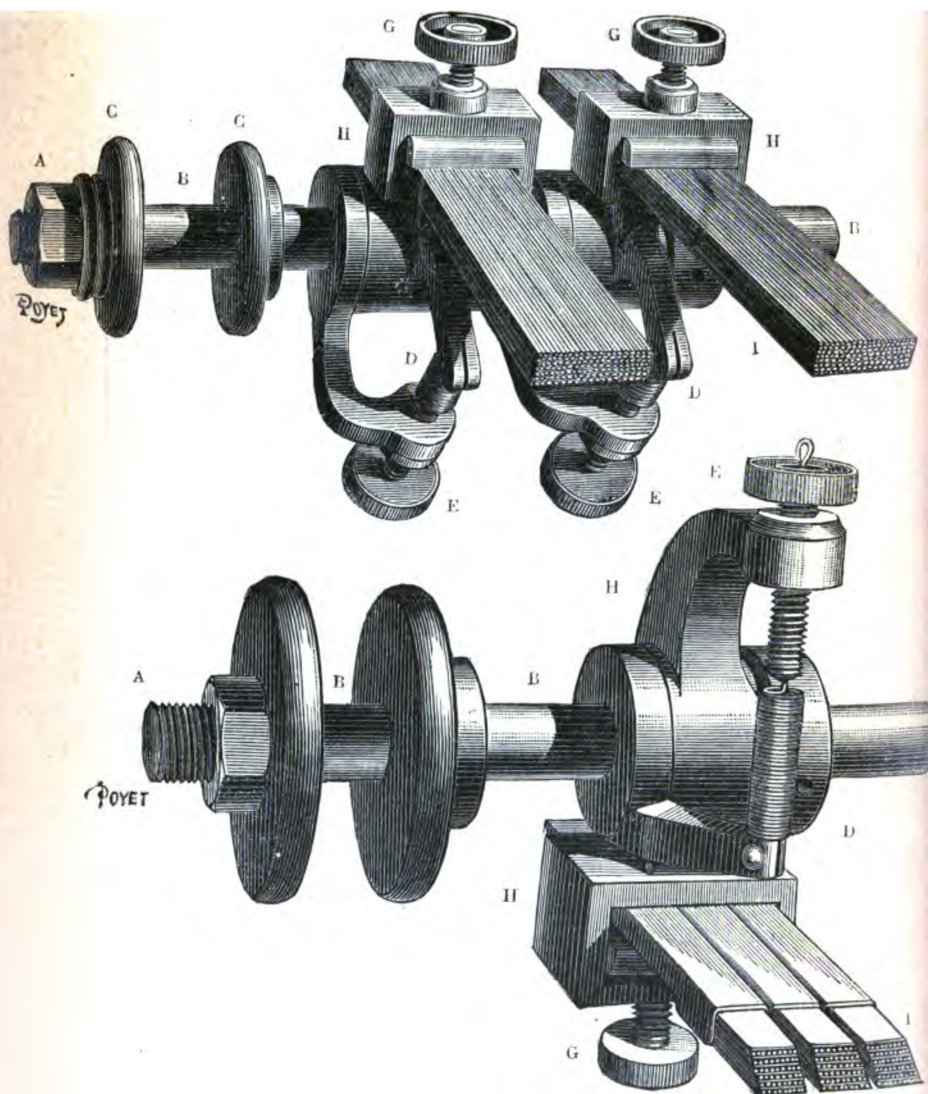


Fig. 4

Garniture complète de porte-balais

ment quel est l'endroit où l'on doit s'arrêter pour qu'il se produise le moins d'étincelles possibles. L'on est ainsi conduit à une génératrice du cylindre, ne coïncidant pas avec celle où le plan de la ligne neutre vient couper la surface, mais se trouvant toujours en avant de cette position théorique d'un certain angle, qui lui-même est variable suivant la puissance du courant produit :

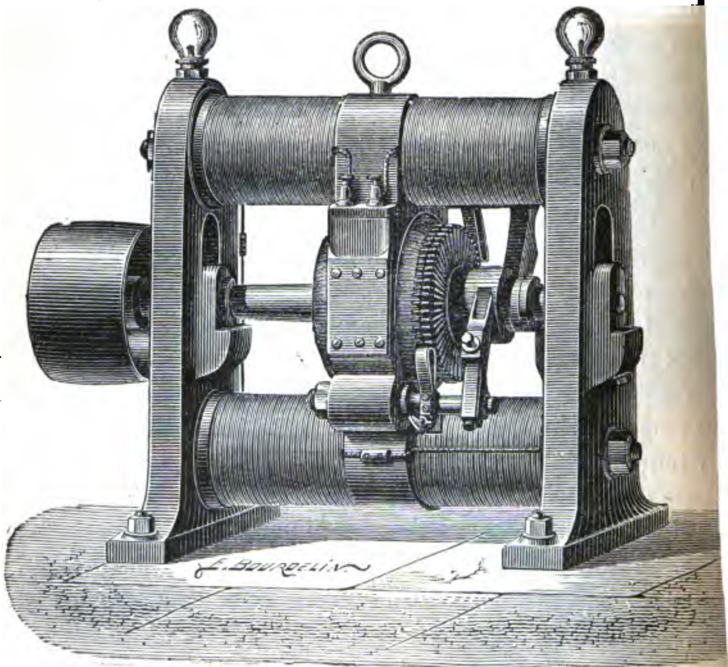
L'on a cherché à expliquer cette particularité, en disant que le courant induit réagit sur l'anneau de l'armature qui se trouve, par ce fait, soumis à deux actions contraires : celle des inducteurs tendant à développer des pôles en P et P', et celle de l'induit, qui tend à développer des pôles en Q et Q'. La résultante de ces deux actions amènerait ainsi les pôles à occuper réellement une position intermédiaire en avant d'un certain angle α sur la position théorique. La ligne neutre restant toujours perpendiculaire à celle des pôles se trouverait par conséquent déplacée en avant de sa position théorique, du même angle que cette dernière et serait ainsi amenée de N N' en N_1 N_2 (fig. 5.)

La première condition pour qu'une machine fonctionne convenablement, c'est que les balais soient bien appliqués sur le collecteur, et que leur position soit convenablement choisie ; la plupart du temps lorsqu'ils sont réglés pour un certain nombre de lampes en circuit, il n'est nécessaire de procéder à un nouveau calage que lorsque l'on augmente ou diminue la quantité pour laquelle ils ont été règlés. Dans quelques dynamos, le règlage des balais sert à règler le courant, mais ce n'est que dans des machines spéciales donnant peu d'étincelles et dans ce cas, en tournant les balais dans le sens de rotation de l'armature on affaiblit le courant, et en sens contraire on le renforce.

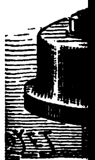
V

Machine Gramme. — Nous venons d'étudier l d'une machine Gramme, nous allons maintenant exa cette dynamo au point de vue industriel.

Comme le montre la (fig. 6,) cette machine se comp deux électros opposés par leurs pôles, de même nom et duisant au milieu du système deux pôles doubles très giques entre lesquels tourne l'induit. Le bâti sert à la fo support pour les pièces mobiles et les inducteurs et de se pour les électros qu'il complète en fermant leur c magnétique.



Fig, 6, — Machine Gramme



Les pôles des inducteurs sont terminés par des pièces épanouies de façon à envelopper la majeure partie de la circonférence extérieure de l'induit qui a la forme et le genre d'enroulement que j'ai indiqués dans le chapitre précédent. Le collecteur est situé entre l'un des bâtis et l'armature elle-même.

L'on voit donc que la machine Gramme réalisait bien la source commode et puissante qui devait permettre de faire entrer l'électricité dans l'industrie et d'en multiplier les applications ; d'un autre côté elle réunissait bien les conditions de simplicité que l'on doit rechercher dans toute machine industrielle, puisque tout le jeu consiste à déterminer une rotation rapide de l'induit devant les inducteurs. A l'usage l'on fut conduit à modifier un peu la disposition et à rechercher quelques améliorations tant au point de vue électrique qu'à celui mécanique, mais il n'en est pas moins certain que cette machine a le mérite d'avoir été la première vraiment pratique et parmi le grand nombre de types auxquels elle a servi de point de départ, elle a du moins conservé sur beaucoup l'avantage de la simplicité.

La principale modification que l'on a cherché dès le début à apporter à la dynamo Gramme est le choix d'une position plus avantageuse pour les pièces polaires, car il faut reconnaître que dans la machine telle que je viens de la décrire, l'influence des électros s'exerçant sur la périphérie de l'anneau peut déterminer un contact entre ce dernier et les inducteurs, soit par suite de l'effet de la force centrifuge soit par une simple usure de cousinets, soit même par l'attraction des inducteurs. La nécessité de remédier à cet inconvénient a été le point de départ des machines à anneau plat que nous étudierons dans la suite. Gramme lui-même après avoir modifié son modèle primitif et construit successivement la machine carrée, celle octogonale, puis celle cylindrique, avait cherché en 1884

à constituer une machine multipolaire, également à anneau plat, mais il ne tarda pas à abandonner son idée, qui d'ailleurs avait déjà été réalisée par Schukert, et il s'arrêta définitivement au type dit supérieur qui est maintenant celui employé dans les applications industrielles. En somme rien n'est changé au principe de la machine ; seules la forme et la disposition de l'ensemble ont été un peu modifiées. Ainsi l'induit a été placé à la partie supérieure de l'appareil, les électros sont terminés par des pièces polaires très-puissantes qui enveloppent l'armature sur la presque totalité de sa périphérie et les supports de l'axe venus de fonte avec la plaque de fondation, sont disposés de façon à rendre plus faciles l'accès et la surveillance du collecteur. L'on voit que dans ce dernier cas l'on a cherché surtout à augmenter la puissance du champ magnétique et à diminuer la résistance intérieure de la machine en renforçant les électros, et réduisant le poids du cuivre en même temps que l'on augmentait celui du fer, et que l'on faisait agir les pièces polaires sur la plus grande surface possible de l'induit.

En étudiant la distribution du potentiel autour du collecteur d'une dynamo, Mordey avait constaté que dans une machine où la distribution et où les courbes de potentiel total présentaient des irrégularités, ce défaut était dû à une répartition inégale de l'induction dans les différentes parties du champ, et le 28 février 1884 dans une conférence faite à la Société des Arts à Londres, le professeur Sylvanus Thompson, en relatant les observations de Mordey, signalait l'inconvénient que pouvaient présenter les larges épanouissements polaires très aptes à engendrer de fausses inductions ; d'après lui, il ne fallait pas rechercher ailleurs la cause des forces électro-motrices opposées, qui se manifestent aux collecteurs et donnent des points neutres secondaires. L'on fut ainsi amené à diminuer la zone d'action de chacune des pièces polaires et par suite à multiplier le nombre des pôles des

dynamos, c'est dans cet ordre d'idées que la maison Sautter Lemonnier et Cie de Paris, a adopté les types Gramme multipolaires dont les (fig. 7 et 8) peuvent donner une idée.

Comme il est facile de s'en rendre compte, l'intensité du champ magnétique est considérablement augmentée et ces machines ont l'avantage de présenter le plus grand rendement possible sous un volume minime. Elles ont été très employées dans ces dernières années et cette disposition tend à se répandre de plus en plus.

Dynamo Henrion. — Comme nous venons de le voir la machine Gramme constitue un générateur d'électricité parfaitement approprié aux applications industrielles. Il ne faut donc pas s'étonner si elle a été le point de départ de toute une classe de machines semblables, qui pour la plupart n'en diffèrent que par quelques détails ou par des combinaisons plus ou moins ingénieuses, soit dans la disposition des parties constituantes, soit dans la façon dont on a modifié l'armature afin d'obtenir un plus grand rendement. Les dynamos Schukert, Victoria, Manchester, Brown et Phenix, pour ne parler que de celles qui ont reçu la sanction de la pratique industrielle présentent quelques particularités intéressantes, mais toutes dérivent du type Gramme. Je ne décrirais donc pas chacune en particulier, je me contenterai d'étudier la dynamo genre Schukert que construit la maison Henrion de Nancy, cette machine s'étant implantée très rapidement en France, surtout dans le Nord et jusque dans notre région est devenue l'une des plus intéressantes à connaître. Elle présente sur le type Gramme l'avantage d'avoir un plus grand rendement, une forme plus rationnelle de l'induit et une position plus avantageuse pour les pièces polaires.

L'induit au lieu d'être comme celui de Gramme, très large et d'un petit diamètre, est au contraire étroit et de grand diamètre. (fig. 9) La conséquence forcée de cette modification fut

le déplacement des pièces polaires qui furent alors disposées, non sur la périphérie, mais sur les côtés de l'anneau, de façon que les pôles de même nom se fassent vis-à-vis. L'on voit immédiatement tout l'avantage qui devait résulter de cette disposition. La résistance intérieure de l'anneau Gramme peut être réduite à une valeur aussi petite que possible, et d'un autre côté il n'y a pas à craindre que l'effort de la force centrifuge projette les fils de l'induit contre les inducteurs, puisque ces derniers sont complètement supprimés sur la circonférence extérieure. Enfin il n'est pas jusqu'au grand diamètre de l'armature qui ne constitue un avantage très marqué puisque d'une part il permettra de donner pour une même longueur de fil enroulé une plus faible épaisseur aux spires, ce qui est très avantageux au point de vue de la sécurité de l'isolement, et d'autre part il sera facile avec une vitesse angulaire plus faible, d'obtenir à la circonférence une vitesse linéaire égale à celle de l'anneau Gramme. En effet, l'expression de la vitesse linéaire étant pour un point quelconque du système

$$V = \omega R$$

dans laquelle ω représente la vitesse angulaire, l'on voit immédiatement que pour uue même valeur de ω, V sera d'autant plus considérable que R sera lui-même plus grand. Donc, pour une même énergie développée, cettemachine tournera moins vite qu'une Gramme, et d'un autre côté l'induit formera de lui-même volant et atténuera ainsi les petites irrégularités qui pourraient exister dans la marche du moteur commandant la dynamo.

Pour enrayer la formation des courants parasitaires de Foucault, le disque sur lequel se fait l'enroulement du fil est composé de fil de fer enroulé en couronnes de tôles minces superposées et isolées entre-elles.

J'ai fait rapprocher dans la même planche les figures des machines Gramme et Henrion, afin de bien faire saisir leur

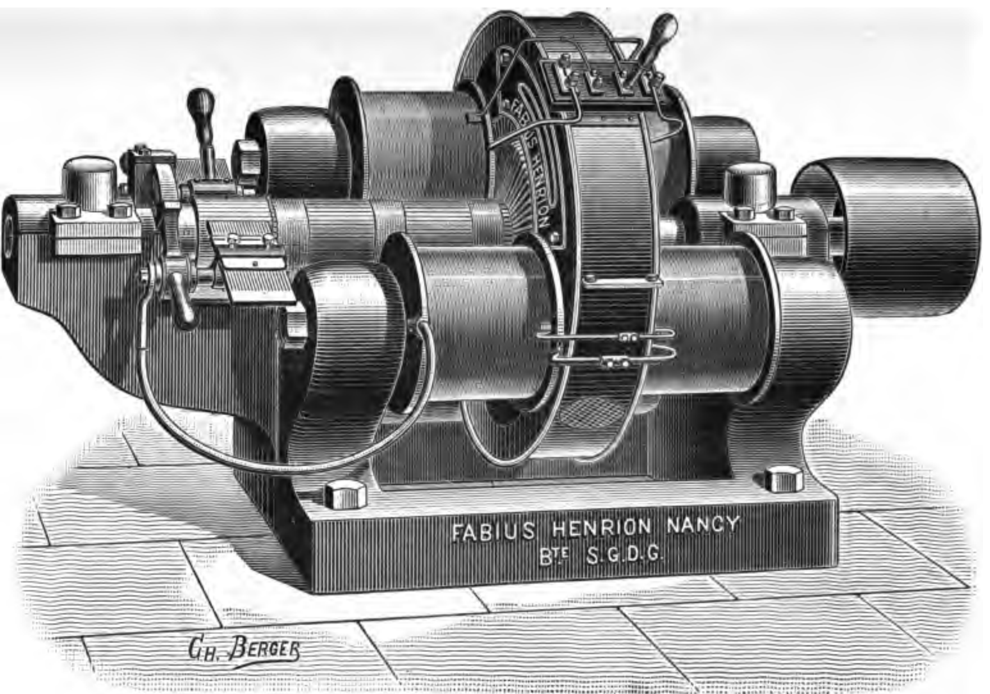


Fig. 9 — Dynamo Henrion. Type T L à 2 pôles

forme à peu près identique (fig. 10.) Comme il est facile de s'en rendre compte, elles présentent la plus grande analogie à cette différence près que j'ai signalée pour l'induit et que dans la dynamo Henrion les bâtis latéraux ont été évidés d'un côté afin de permettre d'enlever, plus facilement, l'anneau en cas de réparations, et le collecteur a été rejeté en dehors ce qui le rend plus facile à soigner et à visiter.

Les modifications que je viens de signaler pour les machines du type Schukert sont très judicieuses et leur ont acquis très rapidement la vogue dont elles jouissent, aussi les retrouvons nous dans la machine Henrion dont les derniers modèles ont encore subi quelques améliorations. Ainsi le poids du cuivre a été réduit à son minima en même temps que l'on a augmenté celui du fer; pour cela le volume des bâtis réunissant les bobines pour compléter l'électro a été plus que doublé, il en a été de même pour l'âme des inducteurs qui ont été réduits du 1/3 de leur longueur, de façon à diminuer encore la résistance magnétique, et le nombre de tours d'enroulement du fil sur les bobines à été sensiblement diminué, enfin l'enroulement sur l'armature est simple, c'est-à-dire ne comprend qu'une seule couche de fil, condition qui, comme je l'ai déjà fait remarquer est doublement avantageuse, d'abord au point de vue de la sécurité de l'isolement, puis au point de vue de la réduction de poids du cuivre.

L'anneau plat, repose sur un disque en cuivre, tourné sur toutes ses faces, et de chaque côté de ce disque se trouvent des frettes également en cuivre, tournées et mises au même poids, qui se serrent indépendamment les unes des autres pour centrer l'anneau.

L'on peut dire qu'au point de vue mécanique, ce genre de machine présente toutes les conditions de sécurité possible l'induit étant bien équilibré et son axe en acier reposant sur des paliers à très large portée pour lesquels un double système de graissage permet d'assurer une lubrification certaine, et

d'un autre côté la vitesse axiale très-réduite sont autant de garanties de bon fonctionnement.

Enfin la position du collecteur en dehors du bâti empêche la projection de poussière de cuivre qui pourrait compromettre l'isolement des spires.

L'on a quelquefois eu l'idée, sous un prétexte de commodité, de construire des dynamos à trois paliers, de façon à pouvoir placer sur l'axe même de la machine poulie folle et poulie fixe; je dois faire remarquer que cette disposition ne doit être employée qu'à la dernière limite et lorsque l'on ne peut absolument pas établir un renvoi intermédiaire car c'est se placer dans des conditions essentiellement désavantageuses au point de vue mécanique, étant donné la vitesse à laquelle doit tourner la poulie folle pendant que la machine est au repos,

Grâce à ces perfectionnements qui ont permis de diminuer la résistance du circuit magnétique et par suite la résistance intérieure, les dernières dynamos Henrion ont vu leur rendement s'accroître sensiblement et l'angle de décalage des balais est devenu sensiblement fixe, avantage très marqué au point de vue de l'usure du collecteur.

Il existe trois grandes classes de ces machines, appropriées chacunes à un usage spécial. La classe J. L. qui comprend les machines destinées à l'éclairage par incandescence se compose de onze numéros dont dix sont à excitation Compound; je les donne ci-contre avec leur intensités correspondantes, et le nombre de lampes de 16 bougies qu'elles peuvent alimenter, ainsi que la force qu'elle absorbent et leur vitesse. Elles fonctionnent toutes à 110 volts et sont du type représenté (fig.11 et 10.) Les petites machines sont à deux paires d'électros, et les grandes en ont 4 et 6 paires.

TYPES J. L.	1/2	1	2	3	4	5	6	6 a	7	8	9	10	11
Intensité qu'elles débitent en ampères	10	20	28	40	60	90	110	160	240	350	550	800	1200
Nombre de lampes de 16 bougies qu'elles peuvent alimenter. . . .	18	36	50	72	110	160	200	280	440	640	1000	1450	2180
Force absorbée en chevaux vapeur	3	4.5	6	8	11.5	16	20	28	40	60	93	134	200
Nombre de tours par minute.	1500	1250	1100	1050	1000	750	700	650	560	500	400	350	300
Poids de la machine . .	120	200	350	400	500	750	1080	1200	1400	2500	3500	6800	10000

La classe T. L. comprend 6 types destinés à l'alimentation des arcs disposés en tension, ce genre est celui représenté par la (fig. 9.)

Dans le tableau suivant je donne les mêmes renseignements que pour les dynamos Compound. Comme il est facile de le remarquer dans cette classe, c'est l'intensite qui est constante et la tension qui augmente avec le nombre de lampes.

TYPE T L	1	2	3	4	5	6
Tension en Volts...........	135	180	270	450	680	900
Nombre de Lampes de 1,000 bougies que la machine peut alimenter	3	4	6	10	15	20
Force absorbée en chev.	2.5	3	4.2	6.6	9.5	14.5
Vitesse. — Nombre de tours par minute..........	1200	850	800	750	740	700
Poids de la machine en kilos......................	200	350	380	480	720	900

Enfin, la dernière classe qui comprend les machines à nickelage au nombre de 6 types différents, et les machines à galvanoplastie et électro-métallurgie au nombre de 9 types est surtout caractérisée par une très grande intensité et une faible tension des courants produits.

Je donne ci-dessous les résultats de quelques expériences faites avec une dynamo Henrion, n° 1652 du type J. L. Cette machine étant de l'ancien modèle de cette maison, nous devons toutefois remarquer que les résultats sont un peu inférieurs à ceux que nous aurions obtenu avec une dynamo présentant les dernières modifications que j'ai signalées dans cet article.

Normalement la machine qui est à enroulement Compound doit débiter à la vitesse de 670 tours, un courant de 225 ampères à 110 volts de tension, soit 24,750 watts,

Les résistances pendant la marche on été,

1° Dans l'armature..................	R_1	=	0,017	ohms
2° Dans le circuit dérivé............	R_2	=	11,6	»
3° Dans le circuit principal.........	R'_2	=	0,0144	»

La résistance du circuit extérieur à eté calculée au moyen de la loi de Ohm

$$E = \frac{I}{R}$$

$$\text{qui donne } R = \frac{E}{I}$$

L'intensité dans l'armature a été naturellement prise égale à la somme des intensités dans le circuit extérieur et dans la dérivation, c'est-à-dire que l'on a posé

$$I_1 = I + I_2$$

Le rendement a été donné par la formule indiquée au commencement de ce travail

$$W = \frac{E\ I}{736}$$

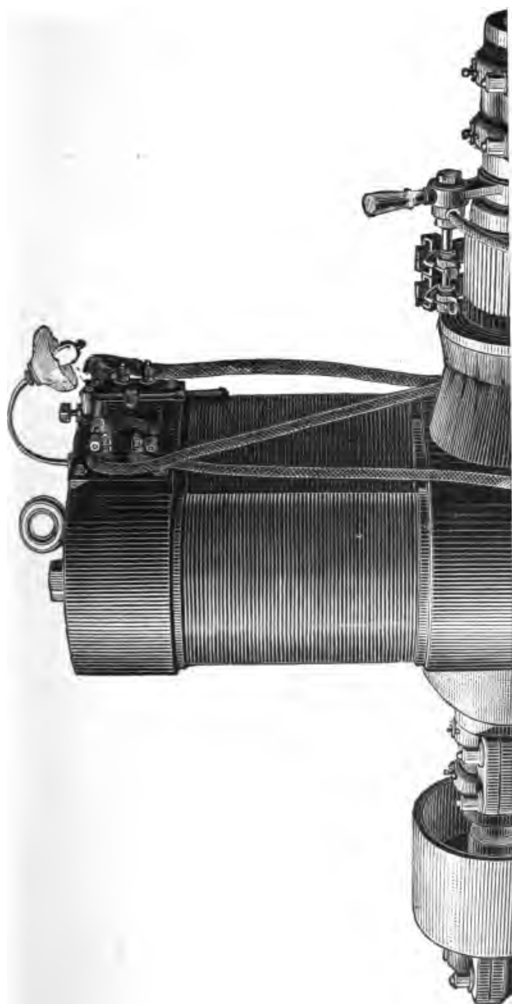
et les pertes dans l'armature, la dérivation et le circuit principal ont été obtenues au moyen de la même formule dans laquelle on a remplacé E et I par les valeurs correspondantes à chaque cas $I_1\ R_1$, $I_2\ R_2$, et $I'_2\ R'_2$.

La perte totale était donnée par la somme des trois valeurs précédentes

$$\lambda = W_1 + W_2 + W'_2$$

En associant cette valeur de λ à celle trouvée pour W dans la recherche du rendement industriel, l'on a obtenu le rendement total électrique en chevaux vapeur.

Intensité dans le circuit extérieur.	Tension aux bornes de la machine.	Résistance du circuit extérieur (calculée)	Intensité dans le circuit dérivé.	Intensité dans l'armature.	Force électro-motrice.	Rendement en Chevaux-vap'.	Perte en chev.-vap. dans l'armat.	Perte en chev.-vap. dans la dérivation	Perte en chev-vapeur dans le circuit principal.	Perte en chev.-vap. dans toute la mach.	Rendement total électrique en chev.-vap^{e}.	Rendement électrique p. %
232	110	0.474	9.77	241.8	117.4	34.67	1.351	1.504	1.053	3.91	38 58	89.8
200	110	0.550	9 73	209.7	116.5	29.89	1.016	1.493	0.783	3.29	33.18	90.1
150	110.3	0.735	9.70	159.7	115.2	22.48	0.589	1.480	0 440	2.51	24.99	90.9
130	109.8	0.845	9.63	139.6	114.1	19.39	0.450	1.461	0.331	2.24	21.63	89.7
102	109.5	1.073	9.57	110,6	112.9	15.18	0.288	1.443	0.204	1.94	17.12	88.6
70	109.5	1.564	9.33	79.5	111.9	10.41	0.146	1.430	0.096	1.67	12.08	86.2
62	109.5	1.766	9.52	71.5	111.6	9.22	0.118	1.428	0.075	1.62	10.84	85.1
33.3	108.5	3.26	9.40	42.7	109.7	4.91	0.042	1.392	0.022	1.46	6.37	77.1
14.5	108.0	7.45	9.53	23.8	108.6	2.13	0·013	1.371	0.004	1.39	3.52	60.5
9.3	107.8	11.59	9.30	18.6	108 2	1.36	0.008	1.364	0.002	1.37	2.72	50.0
0.	107.3	∞	9.25	9.3	107.5	0	0.002	1.348	0.	1.35	1.35	0



Dynamo Edison. — Parmi les machines électriques actuellement en usage dans l'industrie, la Dynamo Edison est l'une des plus répandues.

L'armature de cette machine est différente de celles que nous avons vues jusqu'alors, elle dérive du type Siemens, Hefner Alteneck, dont j'ai déjà parlé : c'est donc une dynamo dite à tambour.

L'induit est constitué par un noyau formé de disques en tôle, séparés les uns des autres par une feuille de papier et enfilés sur un axe en fer isolé magnétiquement de la partie précédente, au moyen d'un mandrin en bois. L'ensemble est fortement serré entre deux plateaux métalliques clavetés sur l'arbre. Cette disposition permet d'atténuer les effets des courants de Foucault. L'enroulement de l'induit est composé d'un certain nombre de spires de fils de cuivre parfaitement isolées du noyau métallique au moyen d'amiante et de toile isolante. Chacune de ces spires s'enroule suivant deux génératrices diamétralement opposées du noyau, et leurs extrémités sont soudées au collecteur, de façon à ce qu'une même lame serve de lien entre la fin d'une spire et le commencement de la spire suivante. L'on voit de suite que ce genre d'enroulement qui est commun à toutes les machines à tambour, est plus compliqué que celui des machines à anneau et l'on peut lui reprocher l'inconvénient de ne pas conserver l'indépendance absolue des spires. C'est-à-dire que ces dernières se recouvrant sur les extrémités du tambour; en cas de réparations, cela peut forcer de débobiner un certain nombre de spires pour arriver à celle que l'on veut remplacer. Le collecteur est de même forme et disposé de la même façon que celui d'une machine Gramme.

Comme il est facile de s'en rendre compte par l'examen de la (fig.13) l'une des particularités remarquables de ces machines est la puissance donnée aux inducteurs qui sont de dimension beaucoup plus forte que dans les autres dynamos et qui

sont réunis à leur partie supérieure par une pièce massive et volumineuse.

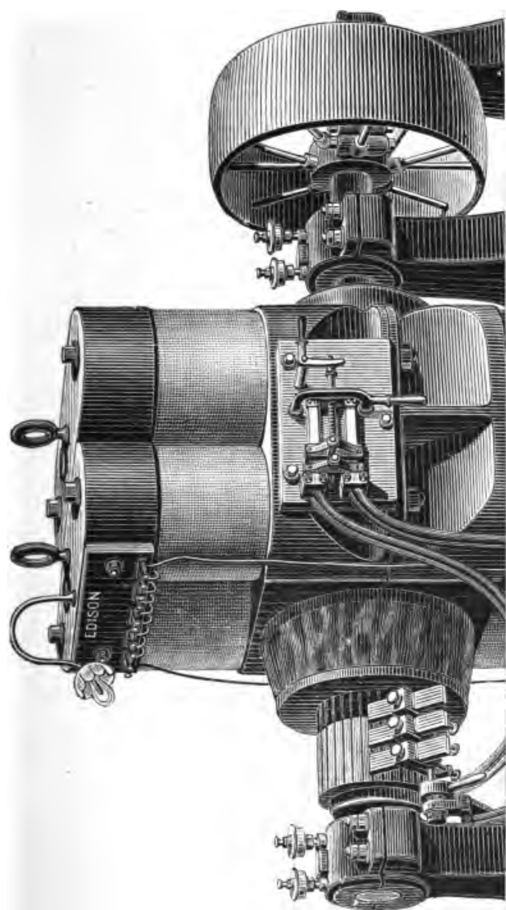
Comme dans le type supérieur de Gramme et dans la machine Schukert, le collecteur a été disposé de façon à pouvoir être facilement visité. Le système de balais est celui représenté (fig. 4)

Depuis leur apparition, les machines Edison ont été très étudiées et elles ont subi un certain nombre de perfectionnements. C'est ainsi qu'à la suite des travaux du Dr Hopkinson, l'on a été amené à modifier la construction de l'armature et à constituer cette dernière tel que je l'ai indiqué plus haut,

Dans la suite, l'on a, je dirais presque, dédoublé les inducteurs, c'est-à-dire au lieu de n'avoir qu'un seul électro dont les deux branches étaient très hautes, et l'induit situé à la partie inférieure comme cela est représenté (fig. 13) dans le nouveau type, la machine comprend deux inducteurs à branches plus courtes placés verticalement, l'un à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure, l'induit étant situé entre deux (fig. 14.) L'on avait pensé diminuer ainsi la résistance magnétique de chacun des inducteurs et obtenir un rendement plus élevé. Il est assez difficile de dire formellement si le but a été atteint et si cette modification a entièrement répondu à l'attente que l'on s'était faite, car parmi les ingénieurs qui emploient les dynamos Edison, les uns prétendent que le nouveau modèle est supérieur à l'ancien, d'autres au contraire préfèrent la machine primitive (fig. 13.) et il faut avouer que le plus grand nombre semble pencher pour ce dernier avis.

Jusque vers cette année ces dynamos étaient excitées en dérivation et l'intensité du champ magnétique était règlée au moyen d'un rhéostat (fig. 15) placé sur le circuit dérivé et manœuvré à la main, de façon à maintenir constante la tension aux bornes de la machine quelque soit son débit.

Ce rhéostat était composé de deux cadrans divisés chacun en un certain nombre de touches, tel qu'en déplaçant le


EDISON

contact de l'un deux de sa position première à sa position extrême l'on obtenait juste la même résistance que si l'on avait sauté d'une touche quelconque à la suivante, sur l'autre cadran.

La Cie Continentale Edison a lancé cette année dans l'in-

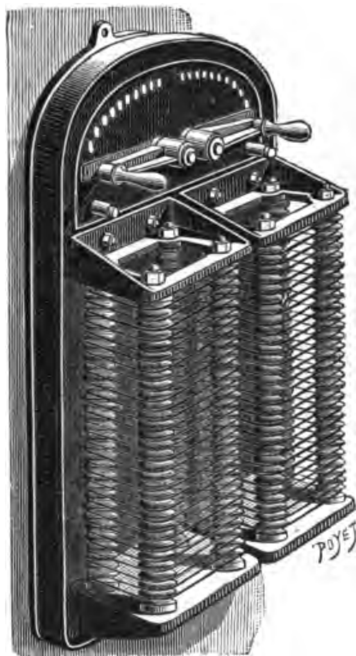


Fig. 15 — Rhéostat

dustrie un type dit de 1889, qui est à excitation Compound représenté (fig. 16.)

Il est facile de voir par l'examen de ces machines que l'on a recherché surtout à réduire les dimensions de façon à obtenir une meilleure utilisation de la masse inductrice. Notons aussi pour ce genre de machine leur montage

sur rails, munies de vis de butée, pour permettre la tension de la courroie même pendant la marche. Les types courants se font généralement pour 75 et 110 volts qui sont les tensions les plus employées par l'industrie.

Je donne ci-dessous deux tableaux indiquant comme pour les dynamos précédentes, les données correspondantes à chacune d'elles.

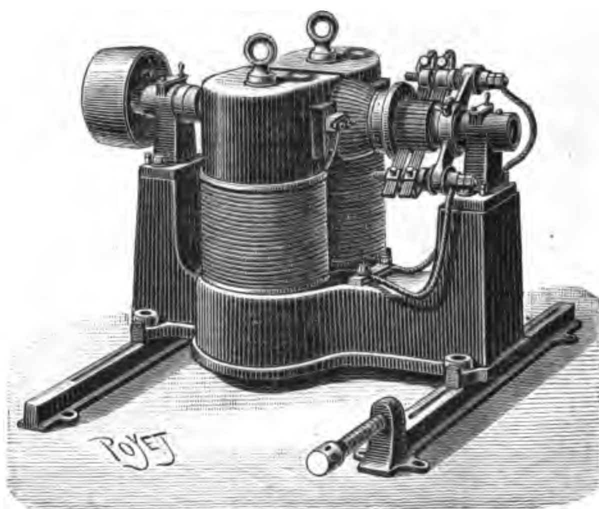


Fig. 16. — Dynamo Edison. Type 1889.

1^ment Série 1885 à excitation dérivée.

Types	Energie développée en watts	Nombre de lampes de 10 bougies	Débit normal avec bobinage à 75 volts	110 volt.	Poids en kilos	Vitesse. Nombre de tours
1	2200	55	30	20	330	1400
2	4400	110	60	40	490	1400
3	8800	220	120	80	1045	1200
4	17600	440	240	160	1520	1000
5	26400	680	3C0	240	2670	900
6	35200	880	500	320	3370	800
7	49500	1240	675	450	5675	650
8	88000	2200	1200	800	11750	350

2^ment Série 1889 à excitation Compound

Types	Energie développée en watts	Nombre de lampes de 10 bougies	Débit normal avec bobinage à 75 volts	110 volt.	Poids en kilog.	Vitesse Nombre de tours
C	2200	55	30	20	180	2000
D	3300	82	45	30	305	1650
H	6600	165	90	60	660	1400
M	9900	248	135	90	955	1200
N	17600	440	240	160	1710	1000
O	26400	680	360	240	2265	900
P	39600	990	540	360	4160	650

Comme pour les machines Henrion je donne, ci-dessous, le résultat d'expériences faites dans les mêmes conditions que ces dernières.

La machine expérimentée était le type S pouvant alimenter 100 lampes de 16 bougies et débitant normalement 80 ampères à 110 volts avec une vitesse de 1100 tours par minute. La résistance de l'inducteur Schunt étant de 33 ohms.

dans le circuit principal	Différence de potentiel E	Résistance extérieure R	Intensité dans l'inducteur i	Intensité dans l'armature I	Force électro-motrice E	$\frac{E\,I}{736}$	$\frac{E\,i}{736}$	$\frac{(e-E)I}{736}$	Perte totale	Energie disponible	Rendement
0^a	110^v	∞	3^a33	3^a33	110.2	$0^{ch}49$	$0^{ch}49$	néglig,	—	—	—
25^a	»	4^w4	«	28^a33	111.5	4.29	»	0.05	0.54	$3^{ch}75$	0.87
50^a	»	2.2	«	53.33	113.2	8.06	»	0.23	0.72	7.34	0.90
80^a	»	1.57	«	83.33	115^v	13.02	»	0.56	1.05	11.97	0.92

Dynamo Thury. — Avant de quitter le chapître des générateurs d'électricité, j'appellerai votre attention sur une machine qui, bien que peu répandue dans notre région comparativement à celles que nous venons d'étudier, n'en mérite pas moins une mention spéciale, en ce sens que je la crois appelée à un certain avenir industriel lorsqu'elle sera mieux connue, j'ai nommé la Dynamo Thury.

En elle-même, l'on ne saurait dire qu'elle constitue une invention basée sur un principe spécial, mais elle tire tous ses avantages d'une application plus rationnelle de la plupart des idées que je vous ai signalée, en parlant des dynamos précédentes, et l'on peut dire que les modifications heureuses de

ces principes, ont influencé grandement les rendements obtenus et ont permis d'en faire un type bien caractérisé, participant à la fois des avantages des machines à grand diamètre et de ceux des machines à tambour.]

Partant des mêmes idées que Mordey, lorsqu'il fut conduit à réduire le segment magnétique de l'action de chacune des pièces polaires, M. R. Thury multiplia le nombre des inducteurs de façon à ce que chacun d'eux n'agisse que sur une plus faible partie de la circonférence de l'induit, d'un autre côté, l'armature qui est ici un tambour semblable à celui de Siemens et d'Edison, mais de plus grand diamètre, est enroulé de façon à réduire au minimum la partie du fil non influencé; ainsi, le conducteur au lieu de passer comme cela se fait dans les machines ordinaires, d'un point quelconque de la circonférence extérieure de l'anneau, au point diamétralement opposé, passe seulement d'un sixième de la circonférence à l'autre, il s'en suit donc une meilleure utilisation du fil de l'armature.

Dans ce genre de machine, l'excitation peut se faire par l'une ou l'autre des méthodes que j'ai indiquées en commençant ; toutefois, l'enroulement Compound est plutôt réservé aux petites machines, et les types supérieurs sont excités en dérivation, car la résistance intérieure de ces dynamos étant très faible, les variations de débit influent peu sur les différences de tension aux bornes, et le double enroulement ne présenterait ici que peu d'avantages ; d'un autre côté l'excitation en dérivation, permet un accouplement plus facile de plusieurs machines entre elles, point qui peut être quelquefois très important.

MM. Cuénod, Sautter et Ce de Genève construisent plusieurs types de ces dynamos, variables de forme et de dimensions suivant leurs applications et leur force.

Ainsi le type C, représenté (Fig. 17,) est construit surtout pour les forces de 2 à 30 chevaux. Son emploi principal est pour l'éclairage à incandescence.

Il est muni d'un volant ventilateur, destiné à corriger les irrégularité de la commande et éviter l'échauffement accidentel de la machine par suite d'une cause quelconque. Le champ magnétique est produit par 4 électro-aimants dont la position sert à caractériser la machine que l'on peut encore appeler type carré pour la distinguer des autres marques H ou M. Ces électros enveloppent l'induit et le soumettent à une action magnétique intense. Enfin, l'enroulement sur l'armature est ici, celui dit Compound, permettant de maintenir la tension constante, quelque soit le débit de la machine. Les numéros les plus courants de ce type sont résumés dans le tableau suivant avec indications de leur puissance et de leurs dimensions

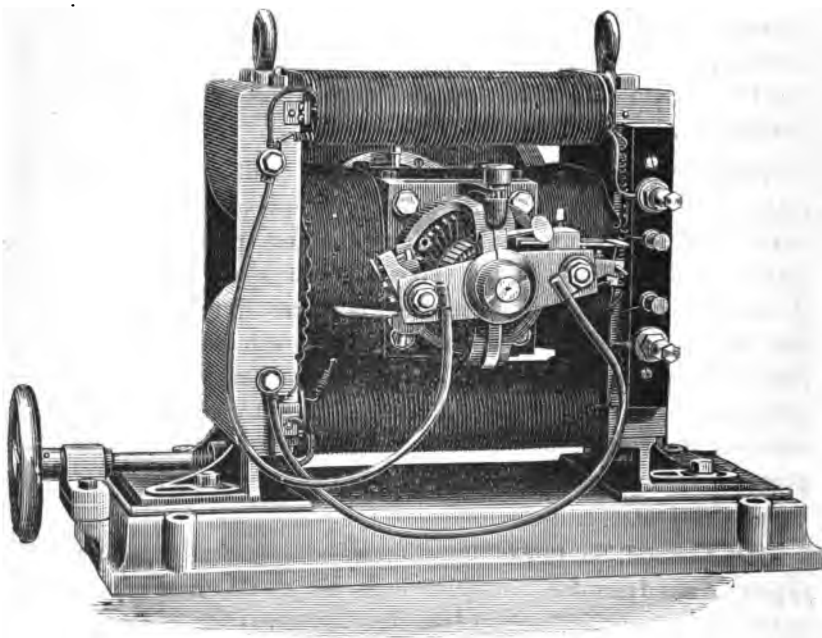
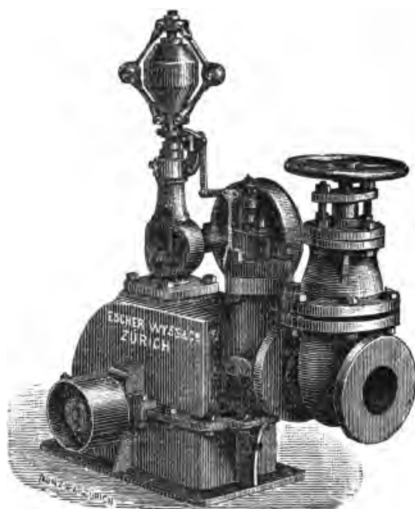


Fig. 17 — Dynamo Thury. Type C.

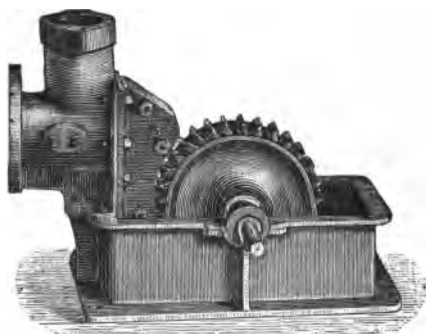
Numéro de la machine	Force absorbée en chevaux	Puissance en watts	Nombre de tours par minute	Poids en kilog.	Dimensions de la Machine			Diamètre et larg. de la poulie
					Longueur du socle	Largeur du socle	Hauteur Totale	
C_1	2.5	1 500	1600	120	0^{m}565	0^{m}275	0^{m}360	100/65
C_2	3.5	2 250	1300	190	0^{m}675	0^{m}345	0^{m}430	120/95
C_3	6	3 850	1500	280	0^{m}740	0^{m}390	0^{m}460	150/110
C_4	10	6 600	1300	400	0^{m}860	0^{m}440	0^{m}570	200/115
C_5	15	10 000	900	600	0^{m}960	0^{m}550	0^{m}675	250/130
C_6	23	15 000	800	870	1^{m}160	0^{m}595	0^{m}785	300/150
C_7	30	20 000	750	930	1^{m}140	0^{m}750	0^{m}925	350/150

En Suisse, où ce système de dynamo est très employé, elle sont quelquefois accouplées sur des moteurs à eau qui permettent d'utiliser les chûtes très nombreuses dans ce pays.

Les moteurs qui sont le plus employés dans ce cas, sont pour les petites forces, ceux que construit la maison Escher-Wyss et Cie de Zurich. Ils sont commodes en ce sens qu'ils sont peu couteux, tiennent peu de place, et tournent déjà d'eux-mêmes à grande vitesse, ce qui permet d'éviter des transmissions intermédiaires, d'un autre côté leur prix peu élevé ne grève pas, outre mesure, les frais de première installation.



Moteur B avec régulateur



Moteur B. découvert.

Je donne, ci-dessous, un tableau de quelques données utiles à connaître sur ce genre de moteur.

Hauteur de chute nette en mètre	MODÈLE A Débit maximum 6 lit. d'eau par seconde		MODÈLE B Débit maxim. 10 lit. par seconde		MODÈLE C. Débit maximum 15 lit. par seconde	
	Force effective en chevaux.	Nombre de tours par minute	Force effective en chevaux.	Nombre de tours par minute	Force effective en chevaux.	nomb. de tours par minute
10	0.48	670	0.80	400	1.30	240
20	0.96	950	1.60	570	2.60	340
30	1.44	1160	2.40	700	3.90	420
40	1.92	1340	3.20	800	5.20	480
50	2.40	1500	4.00	900	6.50	540
60	2.88	1640	4.80	980	7.80	590
70	3.36	1700	5.60	1060	9.10	640
80	3.84	1800	6.40	1140	10.40	680

Pour compléter ces renseignements, je dirai que le type A avec poulie de 120 à 150 de diamètre, pèse 56 kil. et coûte 285 francs.

Le type B avec poulie de 160 à 240 de diamètre pèse 160 kil. et coûte 770 francs. Le type C avec poulie de 250 à 400 de diamètre pèse 250 kil. et coûte 1090 francs. Ces deux derniers types sont munis d'un régulateur automatique, dont le prix est compris avec celui de la machine.

Dans les grandes chûtes l'on emploie les turbines système Piccard qui, comme les moteurs précédents, tiennent peu de place et ont surtout l'avantage d'avoir une marche très régu-

lière, point essentiel, lorsqu'il s'agit de commander une dynamo.

Je donne également à leur sujet un tableau de quelques unes de leurs dimensions.

Hauteur de chûte	TYPE N° 1			TYPE N° 2			TYPE N° 3		
	Nombre de tours	Force en chev.	Débit maximum en m. cub, par heure	Nombre de tours	Force en chev.	Débit maximum en m. cub. par heure	Nombre de tours	Force en chevaux	Débit maximum en m. cub. par heure
90	1330	2.95	13.61	800	9.53	40.84	500	30.63	122.5
100	1410	3.45	14.35	840	11.16	43.05	520	35.87	129.5
120	1540	4.54	15.72	920	14.67	47.16	570	47.16	141.5
140	1660	5.72	16.98	1000	18.49	50.94	620	59.43	152.8
150	1720	6.35	17.57	1030	20.50	52.73	640	65.91	158.2
160	1780	7.00	18.15	1070	22 59	54.45	660	72.61	163.4
180	1890	8.34	19.25	1130	26.95	57.76	700	86.64	173.3
200	1990	9.77	20.29	1190	31.57	60.88	740	101.47	182.6

La Turbine n° 1 dont la poulie à 200 m/m de diamètre sur 120 de largeur, coûte 500 francs. Le type n° 2 avec poulie de 350 m/m de diamètre sur 180 m/m de largeur coûte 900 francs. Enfin, le type n° 3 avec poulie de 600 m/m de diamètre sur 260 de largeur coûte 1600 francs. Comme il est facile de s'en rendre compte, par l'examem du tableau précédent, l'on peut avoir des moteurs à eau de toutes forces et dans un endroit ou l'on dispose d'une hauteur de chûte et d'un débit suffisant, il y a certainement là un moyen de commande des dynamos aussi économique que possible, de plus un régulateur à servomoteur que l'on peut adjoindre à la turbine, en rend la marche automatique et permet à l'ensemble de fonctionner

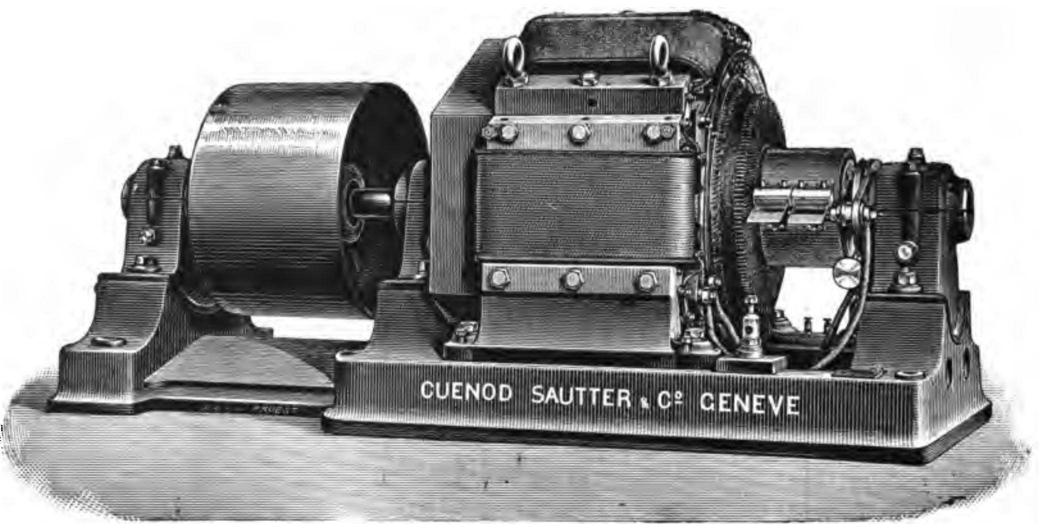


Fig. 18. — Dynamo Thury. Type H. (vue de face)

sans une surveillance spéciale, aussi, cette méthode de commande est-elle certainement appelée à se généraliser dans les villes qui possèdent une distribution d'eau à haute pression.

Le type hexagonal des machines Thury, (Fig.18) ou type H est surtout construit pour des forces de 20 à 100 chevaux, c'est aussi le plus connu. Les inducteurs sont placés suivant les côtés d'un hexagone, et c'est cette disposition qui a donné son nom à la machine. Les tensions couramment admises pour cette classe, sont 65, 100 et 150 volts pour les lampes à incandescence, 65 et 130 volts pour les arcs en dérivation et jusqu'à 1000 volts pour les arcs en série. Pour les éclairages mixtes, l'on admet une tension de 65, 130 et 150 volts et pour les transports de force 300 à 1500 volts.

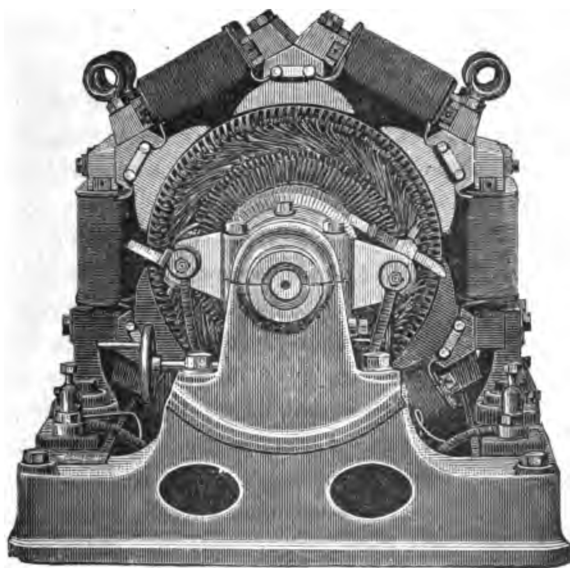


Fig. 18. — Dynamo Thury. Type H. (*vue de côté.*)

Le tableau suivant indique les dimensions, la force, la puissance et la vitesse des numéros les plus courants.

Numéro de la machine	Force absorbée en chevaux	Puissance en watts	Nombre de tours par minutes	Poids en kilog.	DIMENSIONS DE LA MACHINE. Long. du socle à 2 paliers	à 3 paliers	Largeur du socle	Hauteur totale.
H A	41	27500	450	2000	1.15	1.80	1.02	0.95
H B	57	38500	450	2500	1.38	2.16	1.02	0.95
H C	81	55000	450	3000	1.60	2.47	1.02	0.95
H D	81	55000	250	4500	1.75	2.55	1.20	0.95
H D	115	77000	350	4500	1.75	2.55	1.20	1.10
H E	185	125000	185	6000	2.50	3.00	1.80	1.70

Il est facile de remarquer que la vitesse de ce genre de machines est très faible, et c'est là l'un des avantages de ces dynamos, en ce sens qu'il permet leur accouplement direct avec un moteur à vapeur (Fig. 19)

Il existe une troisième division de ces machines, c'est la classe M dont les nos 1, 2, 3 sont représentés (Fig. 20) et les nos 4 et 5 (Fig. 21). Les inducteurs sont à double enroulement, et ce que l'on a surtout recherché ici c'est d'obtenir, le plus grand rendement possible avec la masse la plus réduite. D'un autre côté les modèles faibles sont disposés de façon à protéger les pièces susceptibles contre les chocs accidentels et à se loger aisément dans les locaux restreints.

Les trois premiers numéros sont surtout utilisés pour les distributions de force motrice par stations centrales, tandis que les types supérieurs 4 et 5 sont plus spécialement destinées aux applications pour l'éclairage, enfin le n° 1 est employé principalement pour la commande des ventilateurs par

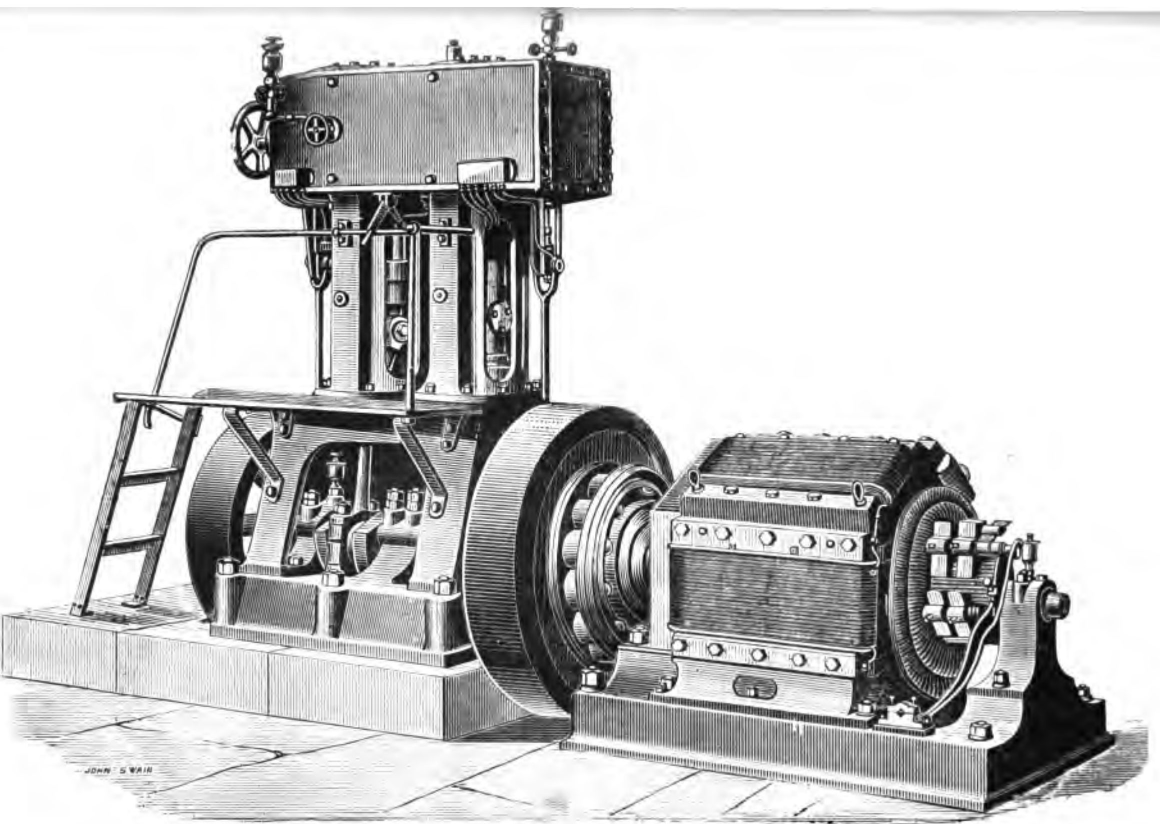


Fig. 19. — Dynamo Thury actionnée directement par un moteur à vapeur.

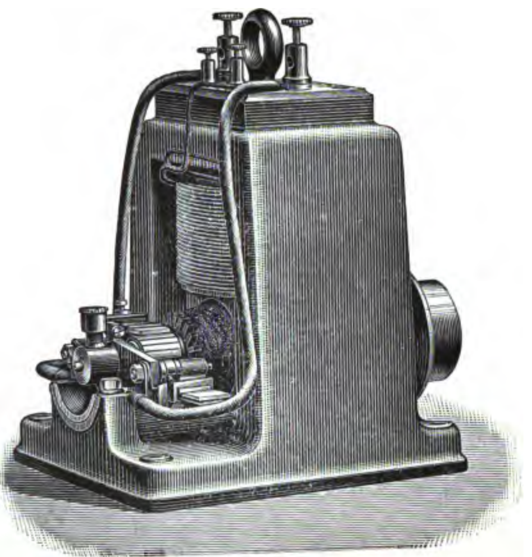


Fig. 20. — Dynamo Thury. Type M.

Fig. 21. — Dynamo Thury Type M

accouplement direct. Dans ce genre, il est facile de voir que le fini des détails et l'élégance de la disposition ont été sacrifiés aux condition d'économie et de concentration des masses sous un faible volume, mais le rendememt a baissé un peu et est descendu au même chiffre que celui de la plupart des autres machines.

Le tableau, ci-dessous, donne les mêmes renseignements pour chaque n° que ceux fournis pour les types C et H.

Numéro de la machine	Force absorbée en chevaux	Puissance en watts	Nombre de tours par minute	Poids en kilog.	DIMENSIONS		
					Longr.	Largr.	Hauteur
M_1	0.75	400	2500	45	0.27	0.23	0.25
M_2	1.50	800	2000	90	0.42	0.29	0.33
M_3	3.00	1650	1500	180	0.50	0.38	0.55
M_4	5.50	3300	1350	310	0.67	0.40	0.60
M_5	9.00	5500	1300	420	0.70	0.45	0.70

En résumé, dans la machine Thury le grand diamètre du tambour, le mode d'enroulement de l'induit, et la multiplication des pièces polaires. sont autant de modifications judicieuses apportées aux dynamos à tambour, ce qui a permis d'obtenir une résistance intérieure excessivement faible et un rendement plus élevé. D'ailleurs, comme pour les machines précédentes, je vous donne ci-dessous quelques chiffres permettant de bien fixer les idées à ce sujet. Ils ont été obtenus avec une dynamo type H D T livrée à la Société d'électricité de Toulouse, qui possède 8 machines semblables, de 150 chevaux, et les résultats ont été calculés au moyen des formules que j'ai exposées en traitant de la dynamo Henrion,

La vitesse normale de la machine était de 380 tours ; l'énergie disponible aux bornes de 105000 watts, c'est-à-dire que le courant fourni à 140 volts était de 750 ampères.

L'intensité dans le circuit dérivé étant de 11^a 2.

La résistance de l'armature à 50° de 0,00432 ohms.

La perte de tension, par suite de la résistance intérieure, de 3 volts 24.

L'on avait donc :

1° Comme expression de l'énergie totale

$$143^v,24 \times 761^a,2 = 109.034 \text{ watts.}$$

2° Comme énergie électrique disponible

$$140^v \times 750^a = 105000 \text{ watts.}$$

Donc, le rendement électrique était de

$$\frac{105000}{109034} = 0.963$$

D'un autre côté,

L'énergie électrique disponible étant de	105000	watts
L'excitation en absorbait 140 × 11, 2 =	1568	»
La résistance intérieure 3,24 × 761,2 =	2466	»
Les courants parasitaires et les frottements	2800	»
Le travail absorbé était donc de	111834	»

Par suite le rendement industriel était de

$$\frac{105000}{111834} = 0,94$$

Machine Rechniewski. — Dans ces derniers temps, la Cie " L'Eclairage Electrique " a lancé dans l'industrie une nouvelle dynamo, qu'il est intéressant de connaître et, sans avoir la prétention de faire une étude complète de cette machine, je vais cependant exposer brièvement son principe.

En 1860, Pacinotti avait inventé un petit moteur électrique réversible, présentant quelques analogies avec la machine Gramme, mais caractérisé par la forme spéciale de l'induit qui était muni de dents en saillies, entre lesquelles le fil était enroulé. Les inducteurs étant trop faibles et mal appropriés, n'avaient pas permis d'obtenir un résultat satisfaisant, et cette machine fut abandonnée. A partir de la découverte de Gramme, l'anneau de Pacinotti fut considéré pendant longtemps, plutôt comme une curiosite que comme le point de départ d'une nouvelle machine industrielle. Ce n'est qu'après avoir mis en œuvre et bien étudié la machine Gramme, que l'on eut l'idée de remonter jusqu'à la découverte de Pacinotti afin de déterminer, si l'on ne pourrait pas arriver à quelque perfectionnement capable de déterminer un rendement plus avantageux.

En 1883, le professeur Silvanus Thompson entreprit une série de recherches ayant pour but de déterminer laquelle des armatures Pacinotti ou Gramme, la première avec ses saillies en fer et la seconde avec son âme lisse en fer complètement entourée de fil. pouvait être la meilleure,

Il construisit à cet effet un appareil spécial, composé d'un aimant avec épanouissement polaire et d'un anneau portant deux bobines situées aux extrémités d'un même diamètre ; chaque bobine occupait un espace sous-tendant un angle de 15° et l'on pouvait les faire avancer brusquement de cette valeur, ce qui nécessitait donc 6 impulsions pour les faire passer de 0 à 90°. On leur faisait parcourir ce quadrant en une seule fois, et un galvanomètre donnait la mesure de l'induction.

Les résultats ont été les suivants :

Anneau Gramme avec âme en bois. 5
» » » » en fer. 24
» Pacinotti à âme avec saillies. 60

Ce qui semblait donc démontrer que l'armature Gramme constituait un pas en arrière sur celle Pacinotti ; aussi, à partir de ce moment, voyons-nous les efforts des inventeurs se multiplier pour reprendre l'idée du professeur Italien et s'en approprier les avantages ; mais en réalité le problème présentait une difficulté considérable, car lorsqu'une dent entre ou sort sous une pièce polaire, il se produit une variation brusque de flux magnétique, et ces changements périodiques de la perméabilité du circuit, donne lieu à la naissance de courants parasitaires tels qu'ils faisaient perdre sur le rendement mécanique, ce que l'on avait gagné sur le rendement électrique.

Weston, Lahmeyer, Brown, puis Swinburne avaient déjà essayé de tourner la difficulté, mais ce n'est que par l'emploi d'inducteurs très divisés que Rechniewski y est arrivé d'une manière efficace. Les deux points principaux caractérisant la machine qui porte son nom, consistent en effet dans l'emploi d'un induit denté et d'inducteurs feuilletés. Remarquons que pour l'induit, le principe seul de Pacinotti est resté intact, car, dans ce genre de machine, l'armature peut être aussi bien un tambour qu'un anneau denté ou vice versâ ; ainsi le tambour est-il surtout employé pour les petites puissances, et l'anneau est plutôt réservé aux types plus puissants ; mais en réalité, cette règle n'est pas invariable, et, lorsque, pour une cause ou pour une autre, l'une des dimensions de la machine est déterminée à l'avance, l'on peut parfaitement substituer l'une des deux formes d'induit à l'autre.

L'armature présente à peu de chose près, la même composition que celle de la machine Edison; comme cette dernière, elle est composée par une série de feuilles de tôle isolées, enfilées sur un manchon en bronze et maintenues sur chacun de leurs côtés par deux disques, dont l'un est fixe et dont l'autre peut venir serrer l'ensemble des disques, au moyen d'un écrou.

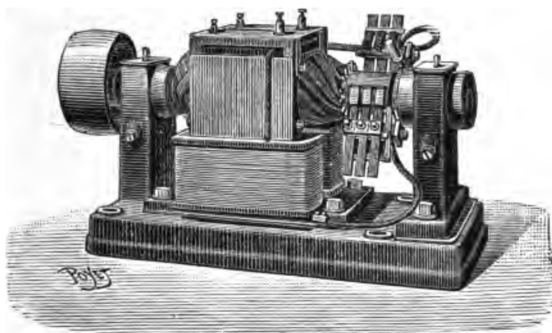


Fig. 21 a. — Machine Rechniewski, bipolaire.

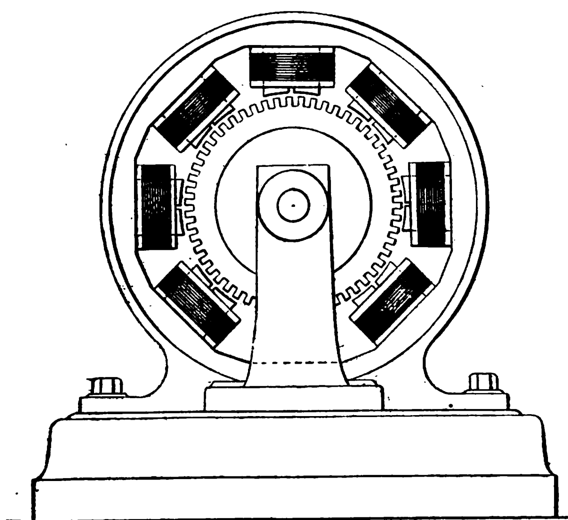


Fig. 21 b. — Machine Rechniewski, multipolaire.

Une disposition spéciale d'ailettes. situées à chaque extrémité du tambour injecte constamment un courant d'air dans l'intérieur de ce dernier, dont on refroidit ainsi les fils et la masse de fer.

Les inducteurs au lieu d'être formés par des pièces massives semblables à celles des machines que nous avons étudiées précédemment, sont au contraire formés par la juxtaposition de toute une série de feuilles de tôle, minces et isolées entre elles, et nous avons vu que cette disposition était nécessitée par la forme même de l'induit. Les types faibles et moyens sont généralement bipolaires, mais à partir de quarante chevaux, ils deviennent multipolaires. Le collecteur de cette dynamo est semblable à ceux que nous avons vus dans les autres machines et ne présente aucune particularité remarquable.

La Cie " L'Eclairage Electrique " construit un assez grand nombre de types de ces machines ; j'ai résumé dans le tableau suivant, les données intéressantes pour chacune d'elles, ce sont des chiffres identiques à ceux qui ont été fournis pour les dynamos déjà étudiées.

Type	Watts aux bornes	Rendement total	Puissance absorbée en chevaux	Poids	Vitesse périphérique par seconde
R 0	100	70 °/o	0,20	9 kg.	7,20 m
R 2	600	80	1	39	8,80
R 3	1,000	80	1,60	53	9
R 4	1,850	84	3		9
R 6	3,300	85	5,20	Ces machines pèsent environ 25 kg. par cheval absorbé	10,20
R 8	15,700	87	8,75		11,20
R 10	10,000	90	15		11,20
R 12	14,000	91	21		13,20
R 14	20,000	93	29		13,
R 15	26,000	93	37		12
R 17	36,000	93	52		18
R 18	50,000	93	72		18
R 19	70,000	94	102		18
R 20	110,000	94	160		18
R 21	200,000	94	290		18

Pour les applications spéciales où une grande légèreté est nécessaire, les machines peuvent être établies de manière à ne peser que de 16 à 20 kg. par cheval, ou 22 à 27 kg. par kilowatt.

VI

Après avoir étudié les appareils générateurs d'électricité, nous allons maintenant examiner brièvement les différents modes d'utilisation du courant. J'ai dit au commencement de ce travail qu'abstraction faite du genre d'appareil destiné à son utilisation, le courant électrique une fois produit pouvait être réparti également en se servant de l'une ou de l'autre des deux méthodes de distribution suivantes.

1° En plaçant tous les appareils en dérivation sur les bornes de la source.

2° En les plaçant en série dans le circuit extérieur.

Dans le premier cas, deux fils parallèles partent des bornes du générateur vont jusqu'à l'extrêmité de l'installation et les fils desservant chaque appareil spécial sont branchés sur ces deux principaux conducteurs.

Dans ces conditions, pour que les différents appareils, reçoivent chacun la quantité d'électricité qui leur est nécessaire, il suffit de maintenir constante la différence de potentiel aux bornes. Nous avons vu que l'emploi d'un double enroulement sur les inducteurs, permettait d'obtenir ce résultat à la condition que la vitesse du moteur commandant la dynamo soit elle-même invariable. Le réglage est alors purement électrique et comme l'énergie totale dépensée reste alors égale à la somme des énergies récupérées, la solution remplit donc bien toutes les conditions voulues.

Le point essentiel pour arriver à ce résultat est donc d'obtenir une vitesse régulière pour la dynamo, or dans l'industrie l'on prend presque toujours la commande des machines électriques sur la transmission générale de l'établissement et comme il arrive très souvent que l'on ait besoin soit d'embrayer, soit de débrayer quelques unes des machines actionnées par le même moteur, il en résulte une surchage ou un allègement qui se traduisent par une variation dans la vitesse de la commande. D'un autre côté, alors même que la dynamo

serait actionnée par un moteur séparé comme dans la plupart des cas, la force élastique de la vapeur peut s'élever ou s'abaisser de 1 à 1/2 atmosphère, il en résulte que la puissance du moteur et par conséquent la production de la machine électrique varie dans des proportions correspondantes, et par suite il se produit un accroissement dans la différence de potentiel, accroissement qu'il faut pouvoir déterminer et corriger de façon à ramener les choses dans leur état primitif.

Dans la seconde méthode de distribution, c'est-à-dire dans le cas du montage en tension, un seul fil part de la machine, relie toutes les lampes placées dans le circuit, les unes à la suite des autres, et arrivé à la dernière retourne à la source. Il est facile de se rendre compte que c'est là la méthode de distribution la plus simple, en ce sens que la canalisation y est réduite à son minimum, mais dans ce cas l'intensité du courant demeure constante et comme chaque appareil, par sa constitution même, oppose à son passage une certaine résistance qu'il lui faut vaincre, c'est donc la pression électrique ou autrement dit la tension qui augmente avec le nombre des appareils à alimenter.

Ici, la quantité qu'il faut maintenir constante est donc l'intensité.

Ainsi, quelle que soit l'une ou l'autre des méthodes précédentes que l'on ait choisie pour distribuer l'énergie électrique, il faut pouvoir déterminer d'une façon simple et commode les variations qui peuvent se produire dans la valeur de celle des deux quantités, tension ou intensité, qui doit rester constante afin de ramener chacune à leur état normal.

C'est le but auquel sont destinés :

1° Les appareils à mesure.

2° Les régulateurs de tension et ceux d'intensité.

Les appareils à mesure, suivant que l'on a à faire l'une ou l'autre des méthodes de distribution, sont destinés à donner les valeurs.

1° De la tension aux bornes, ce sont les voltmètres.

2° De l'intensité du courant, ce sont les ampèremètres.

Parmi les voltmètres actuellement employés dans l'industrie, il y en a très peu de vraiment bons. Les uns ne peuvent rester constamment dans le courant, les autres renferment des électro-aimants ou des aimants permanents et se trouvent faussés après quelque temps de service. L'on peut dire que parmi les appareils employés dans une installation, ceux qui sont à la fois les plusu tiles, et cependant le plus souvent défectueux sont, sans contredit, les appareils à mesure.

L'un des voltmètres les plus employés, et aussi l'un de ceux donnant les meilleurs résultats est celui du système Fabius Henrion représenté (fig. 22.)

Il ne renferme ni aimant permanent, ni électro-aimant, son fonctionnement est simplement basé sur l'attraction directe par un solénoïde d'une feuille de tôle de fer doux, très légère, ce qui permet une grande sensibilité. il n'a donc pas à craindre le magnétisme rémanent des électros, ni le manque de constance des aimants permanents, deplus ilreste constamment en circuit, et le courant peut entrer indifféremment par une borne ou par l'autre et ce sont là des avantages très précieux, tant au point de vue de la pose, qu'à celui du fonctionnement de ces appareils.

Quel que soit le système dont on fasse usage, le voltmètre se place toujours en dérivation aux pôles de la machine, et assez près de l'appareil régulateur, pour que l'on puisse facilement lire ses indications en même temps que l'on fait varier la résistance du circuit des inducteurs.

Lorsque l'on a choisi le système de distribution en tension, ce n'est plus la force électromotrice, mais l'intensité du courant qui reste constante, alors, l'appareil indispensable, est l'ampèremètre, et c'est sur les indications de ce dernier

que l'on se base pour la manœuvre du régulateur. Il offre à peu près le même aspect que le voltmètre, mais comme il doit indiquer l'intensité totale du courant, il se place alors directement sur le circuit de ce dernier.

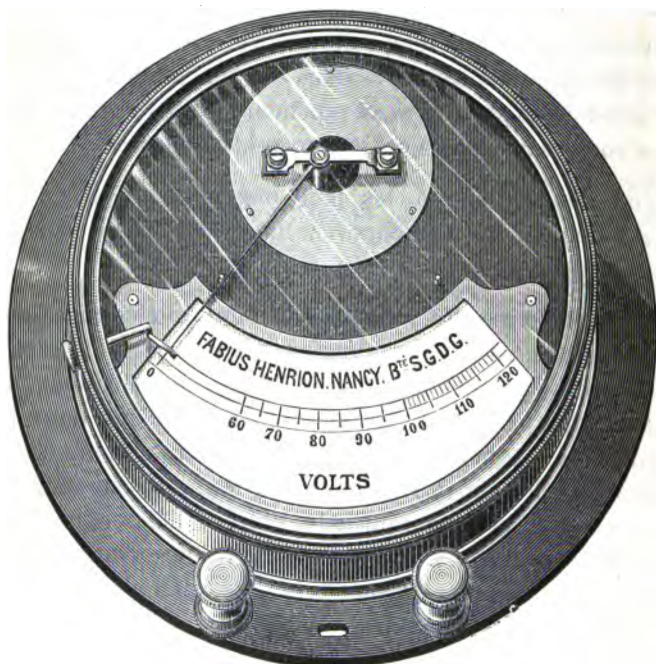


Fig. 22. — Voltmètre système Fabius Henrion

Les variations qui se produisent dans la marche d'une dynamo sont donc indiquées par l'un ou l'autre des appareils précédents, suivant que l'on fait usage de la méthode de distribution en dérivation ou de celle en tension, et il s'agit de pouvoir gouverner le courant de façon à lui conserver la constante sous laquelle il doit agir. Le moyen le plus simple à cet effet

consiste à modifier le champ magnétique en faisant varier l'intensité du courant qui le produit. Pour celà l'on intercale dans le circuit des inducteurs un rhéostat (fig. 23.) qui permet de faire varier la résistance de ce dernier et par suite, d'augmenter ou de diminuer l'intensité du champ magnétique. Les rhéostats sont d'un grand nombre de types, celui représenté (fig. 23.) est surtout employé par la Société Continentale Edison, tandis que la (fig.24) montre un modèle un peu différent qui a été choisi par la Société Cance.

Quoiqu'il en soit, il est facile de voir que ces appareils sont très simples et c'est là leur grand mérite ; quant à leur désavantage, je peux dire qu'il suffit de les vóir fonctionner pour s'en apercevoir immédiatement. — Ils ne sont point automatiques — c'est-à-dire qu'il est nécessaire qu'un surveillant observe de temps à autre les indications du voltmètre et qu'en cas de déviations en dessus ou en dessous de la normale il déplace à la main le contact du rhéostat de façon à agir sur le champ inducteur, ceci peut ne pas être d'un entretien bien difficile, lorsque l'on a pris soin d'avoir une commande bien régulière, et qu'aucune surcharge ni allégement ne viennent faire varier la vitesse pendant la marche, mais tel n'est pas le cas dans la plupart des installations et surtout dans celles commandées par un moteur hydraulique, et il est facile alors de voir que s'il se produit, par exemple, une variation périodique, il faudrait avoir constamment la main sur le rhéostat, ce qui devient fastidieux et aussi peu pratique que possible. C'est pour remédier à cet inconvénient que les régulateurs ont été rendus automatiques. Il existe un assez grand nombre de types de ces derniers ; je ne puis les examiner en détail, ce qui n'offrirait qu'un médiocre intérêt, aussi, je me contenterai de décrire deux des meilleurs actuellement connus, ce qui sera plus que suffisant pour permettre de se rendre compte des moyens employés pour arriver à intercaler automatiquement la résistance voulue dans le circuit des inducteurs.

Le régulateur automatique système Fabius Henrion représenté (fig. 25.) est certainement l'un des plus ingénieux de ces appareils. Comme il est facile de s'en rendre compte par l'examen de la figure schématique 26 , il se compose d'un voltmètre A dont le noyau mobile oscille entre deux contacts T et T' reliés chacun à deux solénoïdes S et S' dont les noyaux de forme spéciaux sont relevés par un ressort en spirale.

Ces deux noyaux maintiennent chacun un rochet R R' suspendus au dessus de deux roues D D' calées sur le même arbre et dentées en sens inverse sur la moitié opposée de leur circonférence. Un contact à ressort est également fixé sur le même axe et fait corps avec les roues. Enfin une poulie P situé en dessous de l'appareil et en arrière du plan de la figure prend son mouvement sur le moteur lui-même et par une commande à excentrique, donne un mouvement de va-et-vient aux rochets R et R'

Examinons maintenant le fontionnement de l'appareil. Les vis V et V' ayant été réglées pour les limites entre lesquelles doit fonctionner le régulateur, par exemple, entre 109 et 111 volts, lorsque la tension vient à baisser au-dessous de 109 ou à monter au-dessus de 111 volts, l'un des contacts s'établit et suivant le cas qui se présente, le courant passe alors par l'un ou l'autre des solénoïdes S ou S' dont le noyau en s'abaissant engage le rochet correspondant dans la denture de l'une des roues, et la fait ainsi avancer d'une dent ; le contact tombe alors sur un bouton de résistance et tant que les choses ne seront pas revenues à leur état normal, le rochet à chaque oscillation, continuera à s'engager dans la denture pour déplacer l'une des roues et la faire avancer d'une dent, en un mot, l'appareil intercalera ainsi la résistance nécessaire et avec une sensibilité d'autant plus grande que la régulation sera obtenue par l'action du courant lui-même.

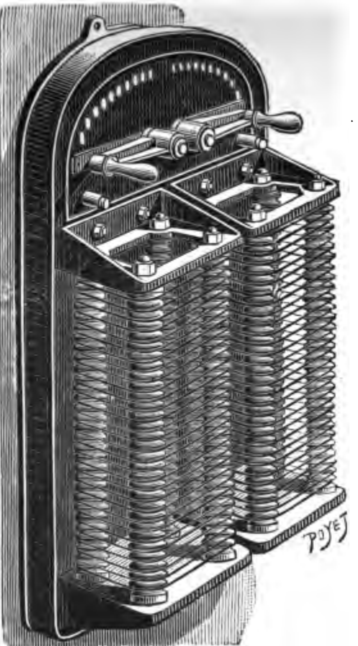


Fig. 23. — Rhéostat Edison.

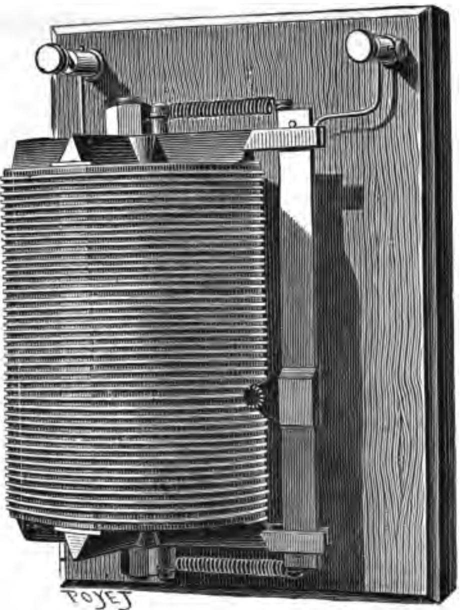
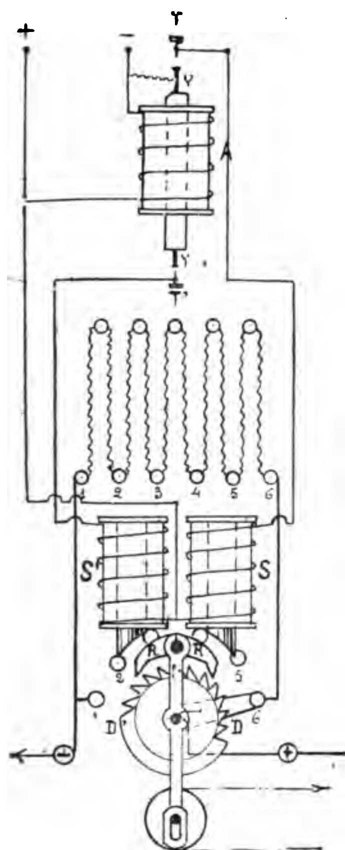


Fig. 24. — Rhéostat Cance.



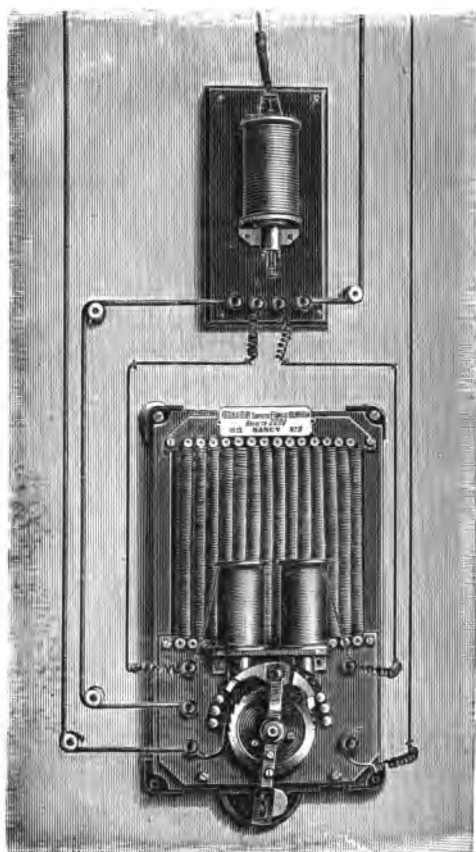


Fig. 25 — Régulateur automatique, systéme Fabius Henrion

Si l'on remarque que dans un appareil semblable, il faut déterminer le mouvement de telle sorte que les résistances ne s'intercalent pas trop vite, pour laisser à l'appareil le temps de se désaimanter, et cependant assez vivement pour que les variations de la lumière n'aient pas le temps de se produire, l'on voit la sensibilité à laquelle il faut pouvoir arriver. Il faut encore éviter la production de l'étincelle au moment où le

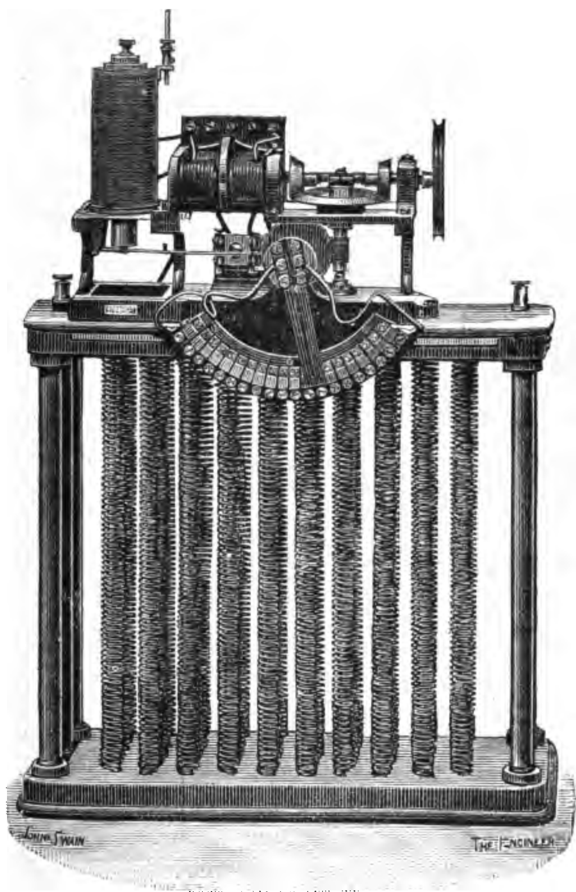


Fig. 26. — Régulateur automatique Thury.

contact va se produire en T ou en T' résultat auquel l'on ne peut arriver qu'en intercalant des résistances de compensation pour dériver le courant et en disposant les solénoïdes qui font mouvoir les rochets de telle sorte que la plus minime variation permette le mouvement des noyaux.

Dans le régulateur automatique système Thury, un axe horizontal portant en son milieu deux petits cônes de friction est situé à la partie supérieure de l'appareil. A l'une de ses extrémités, un disque en fer doux faisant fonction d'armature est placé entre deux électros, de telle sorte qu'il soit attiré par celui de ces derniers dont la force magnétique attractive l'emporte sur l'action de l'autre.

Au dessous des cônes dont je viens de parler, et capable de recevoir le mouvement de l'un d'eux, est un large plateau à friction conique dont l'axe vertical porte une vis sans fin, engrenant avec une roue dentée que l'on peut voir sur la figure au centre de l'appareil et qui est clavetée sur l'axe même commandant le bras de levier établissant les contacts avec les diverses touches de résistance.

En arrière du plan du tableau et sur le même axe que la roue dentée engrenant avec la vis sans fin, se trouve un petit pignon commandant une crémaillère formée par l'extrémité d'un bras de levier sur lequel sont établies deux vis de contact que l'on peut régler convenablement, et entre lesquelles oscille une aiguille commandée par le noyau du solénoïde placé à gauche de la partie supérieure de l'appareil et qui est relié à la canalisation principale.

Le jeu se comprend facilement; lorsque le potentiel atteint par exemple une valeur supérieure à la normale, la puissance magnétique attractive du solénoïde dont je viens de parler augmente, le noyau est plus attiré et la communication s'établit par l'intermédiaire de l'aiguille commandée par ce dernier avec le contact supérieur. Le courant passe alors par l'électro correspondant qui attire le disque en fer doux et détermine l'adhérence de l'un des deux petits cônes avec le plateau hori-

zontal, et suivant que la commande est faite par l'un ou par l'autre de ces cônes le plateau tourne dans un sens ou dans l'autre et par l'intermédiaire de la vis sans fin, détermine, un avancement ou un recul de la manivelle sur les différentes touches du tableau de résistance. En même temps, le levier supportant les vis de réglage des contacts est obligé de monter lentement sous l'action du petit pignon dont j'ai parlé plus haut ; si le potentiel est encore trop élevé, l'aiguille le suit dans sa course, maintient ainsi le contact et continue à laisser passer le courant à travers les mêmes électros ; par suite une action analogue à la précédente se reproduit et intercale une nouvelle longueur de fil de résistance, et les choses se passent ainsi jusqu'au moment où la force électro motrice étant revenue à sa valeur normale, la puissance attractive du solénoïde diminue, le noyau s'abaisse et l'aiguille abandonne le contact supérieur. A partir de ce moment, et dès que la force électro motrice augmente ou diminue, le courant en agissant sur le solénoïde principal, passe soit par un électro, soit par l'autre en déterminant ainsi un mouvement du plateau à friction cônique soit dans un sens soit dans l'autre, ce qui fait avancer ou reculer la manivelle sur la ligne des touches, et intercalle ou enlève de la résistance, suivant les besoins.

Comme tous les appareils de ce genre, le régulateur automatique, système Thury, demande à être placé près de la dynamo de façon à permettre une vérification facile entre les deux appareils. Le nombre de tours de son axe premier moteur, est à déterminer dans chaque cas, il dépend d'un assez grand nombre de conditions et peut varier de 40 à 400. Les contacts mobiles déterminant le passage du courant dans les deux aimants doivent être maintenus à une distance telle, que le levier du solénoïde puisse jouer entre eux de 2 à 3 m/m sans les toucher. Quand au ressort du solénoïde, il est réglé d'après le voltmètre, de telle sorte que l'appareil soit au repos dans une position moyenne lorsque la tension du courant a atteint sa valeur normale. En règle générale lorsque l'appareil est conve-

nablement établi, il doit entrer en fonction pour une différence de 1 volt et amener un réglage, soit dans un sens soit dans l'autre.

Les régulateurs automatiques lorsqu'ils sont bien construits et d'un bon système, peuvent rendre de grands services dans les installations électriques lorsque la marche du moteur commandant une dynamo est très-irrégulière, ils sont surtout employés dans les usines ou l'on dispose d'un moteur hydraulique et l'on peut dire que c'est surtout grâce à ces régulateurs que ce genre d'usine a pu adopter l'éclairage par l'électricité.

En résumé et comme il est facile de s'en rendre compte par ce qui précède, les appareils à mesure et les régulateurs sont le complément forcé de tout générateur électrique, et ils sont aussi indispensables que le manomètre ou les soupapes d'un générateur à vapeur ; vouloir les supprimer ne constituerait donc pas une économie car ce serait s'exposer à mettre tous les appareils d'une installation hors de service en très peu de temps.

VII

En général, pour utiliser l'électricité à la production de la lumière, l'on interpose dans le circuit un corps présentant une grande résistance au passage du courant, qui en élève alors la température et le rend lumineux. Il est facile de voir d'aprés ceci que la résistance du conducteur sera la plus grande possible lorsqu'il présentera une solution de continuité, et que ses extrémités seront maintenues écartées l'une de l'autre. C'est dans ces conditions que se produit l'arc voltaïque. Si l'on rapproche les charbons de façon à les réunir par un simple contact, la résistance diminue, cependant elle est encore considérable et suffisante pour donner lieu à un autre système d'éclairage, c'est l'incandescence à l'air libre. Enfin, si au lieu de disposer le conducteur avec une solution de continuité, l'on se contente de diminuer son diamètre de façon à lui conserver encore une grande résistance, l'on obtient l'incandescence ordinaire ; mais alors pour éviter la combinaison du carbone avec l'oxygène de l'air, il faut placer le conducteur soit dans une atmosphère non oxydante, soit ce qui est le cas le plus ordinaire dans le vide.

Il est facile de se rendre compte que l'écartement des charbons dans les lampes à arc, donne lieu à un accroissement énorme de la résistance, et que l'arc, par cela même, constitue la source la plus puissante de lumière et de chaleur.

La concentration du rayonnement lumineux dans les arcs se fait sur les pointes des charbons, qui, par leur combustion, donnent une belle lumière blanche, absolument semblable à celle du soleil, et c'est à l'arc lui-même qu'il faut attribuer la teinte violacée qui donne à ce genre d'éclairage l'aspect quelque peu blafard qui le caractérise.

Les charbons polaires s'usent, d'abord par suite de leur combustion, et ensuite par ce que le courant les désagrège et ransporte la matière d'un pôle à l'autre ; dans ces conditions, leur écartement augmente peu à peu et ne tarderait pas à

amener la rupture de l'arc, si par un mécanisme quelconque, l'on ne maintenait cet écartement constant, et c'est pour réaliser cette condition que sont construits les régultaeurs encore appelés lampes à arc.

Avant d'entrer dans leur étude, je rappellerai le principe suivant : étant donné un point lumineux quelconque fournissant une source de lumière L pendant l'unité de temps, si nous appelons R le rayon de la surface d'une sphère dont tous les points sont également éclairés, la quantité de lumière émise par unité de surface, est donnée par la relation

$$L = 4 \pi R^2 I$$

d'où $$I = \frac{L}{4 \pi R^2}$$

ce qui montre que l'éclairement d'une surface par un point lumineux varie en raison inverse du carré de la distance de cette surface, au point lumineux considéré.

D'un autre côté si l'élément éclairé au lieu d'être normal à la droite le joignant au point lumineux, fait avec ce dernier un certain angle α, l'éclairement est alors réduit proportionnellement au cosinus de l'angle d'incidence des rayons reçus.

Mais en règle générale, les corps lumineux ne sont pas de simples points, ils ont une certaine surface, et les divers éléments de leur surface brillent du même éclat que leur projection normale aux rayons émis. La lumière envoyée par une projection lumineuse, est donc, comme la lumière reçue proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons avec les normales.

Si l'on appelle

E le pouvoir émissif d'un luminaire.

S sa surface.

R sa distance à l'endroit considéré.

La quantité de lumière qu'il donnera à la distance R sera exprimée par la relation

$$\frac{E\ S}{R^2},$$

ce qui montre, que la quantité de lumière versée par un corps lumineux sur l'unité de surface est proportionnelle à l'étendue du corps lumineux, et varie en raison inverse du carré de la distance ; de plus, elle est fonction du pouvoir émissif de la surface éclairante. Enfin la formule précédente appliquée au cas particulier des foyers électriques, en considérant que leur pouvoir émissif a été trouvé par Fizeau et Foucault les 0,38 de celui du soleil, montre que, bien que leur surface F soit assez faible, la quantité de lumière E S versée à l'unité de distance, est considérable, c'est ce qui en rend la vue insupportable pour l'œil à une faible distance, et explique la nécessité de faire usage de globes diffuseurs, ou de placer les foyers relativement haut.

Pour qu'un arc électrique puisse se produire, il faut d'abord mettre en contact les deux extrémités du conducteur entre lesquelles il doit prendre naissance, puis les écarter peu à peu et les maintenir à une distance suffisante pour obtenir la résistance voulue, sans toutefois l'exagérer jusqu'au point de produire la rupture de l'arc, car il y a pour chaque source d'électricité, un écartement maximum qu'il ne faut pas dépasser.

D'un autre côté, les charbons se consument peu à peu, ils se désagrègent et il y a transport de matière, du crayon positif sur le crayon négatif, ce dernier brûlant environ moitié moins vite que l'autre : malgré cela il est nécessaire que le point lumineux reste fixe. et c'est pour arriver à ce résultat que sont construits les régulateurs électriques.

De ce qui précède, nous voyons immédiatement les conditions que nous devrons exiger d'un bon régulateur :

1° Pour l'allumage mettre les charbons en contact.

2° Puis les éloigner immédiatement, de façon à donner à l'arc sa longueur convenable.

3° Maintenir constant, l'écartement normal, c'est-à-dire rapprocher les pointes au fur et à mesure de leur usure, au

moyen d'un mouvement régulier, sans secousse et pour ainsi dire continu.

Remarquons dès maintenant que l'on peut réaliser ces conditions de deux façons différentes :

1° En laissant l'un des charbons fixe, et en agissant sur l'autre seul. La lampe est alors dite à point lumineux mobile et pour que son déplacement ne soit pas sensible à l'œil, l'on a eu recours à plusieurs artifices, parmi lesquels je citerai l'emploi de globes très opaques, ce qui diminue d'autant la lumière, et l'emploi de chaînettes, permettant au globe de descendre à mesure que le point lumineux se déplace.

2° En agissant à la fois sur les deux charbons, et la lampe est dite dans ce cas à point lumineux fixe.

Dans les lampes à arc, l'on peut faire agir le courant qui détermine le jeu des organes régulateurs de trois façons différentes.

1° L'on peut disposer une bobine enroulée de gros fil et traversée par le courant total, de telle sorte que la puissance attractive du solénoïde sur son noyau augmente ou diminue suivant que l'arc s'allonge ou se raccourcit, et que par conséséquent, l'intensité croît ou décroît dans la bobine.

2° L'on peut enrouler la bobine en fil fin, et au lieu de la placer sur le circuit de la lampe, elle se trouve alors en dérivation sur ce dernier. Dans ces conditions, sa puissance magnétique croît lorsque l'arc s'allonge, puisqu'à ce moment la dérivation laisse passer un courant plus fort.

3° En combinant les deux systèmes différents, l'on obtient alors les lampes dites différentielles, dans lesquelles le courant en arrivant à la lampe se partage en deux circuits influençant chacun une bobine spéciale, dont l'une enroulée d'un fil gros est parcourue par le courant principal, tandis que l'autre, enroulée de fil fin, est placée en dérivation par rapport à la conduite principale de la lampe.

Dans ces conditions, il faut bien remarquer que l'action de la bobine en gros fil dépend pour ainsi-dire, de l'intensité du courant, tandis que celle de la bobine en fil fin dépend surtout de la tension ; en effet, dans le premier cas, quand l'intensité diminue, par suite de l'agrandissement de l'arc, le poids du porte-charbon supérieur l'emporte sur l'action attractive de la bobine, et le porte-charbon descend jusqu'à ce que l'équilibre se soit rétabli ; dans le second cas, quand l'arc devient plus grand, la tension augmente, la bobine en dérivation est traversée par un courant d'une plus grande intensité et par suite attire plus fortement le noyau de fer doux, alors, l'arc se raccourcit jusqu'à ce que les choses soient revenues dans leur état dormal. Donc, dans toute lampe différentielle, les deux bobines agissent en sens contraires, et c'est justement à la concordance des mouvements qu'est due la sensibilité de ce genre de régulateurs.

Il y a des lampes qui possèdent les deux genres de bobines que je viens d'énumérer, mais qui n'en constituent pas pour cela des lampes différentielles, car dans ce cas, l'action de chacune de ces bobines est spéciale et séparée et elles ne présentent que l'un ou l'autre des effets dûs soit à l'enroulement en gros fil, soit à celui en fil fin.

Nous dirons donc que les lampes différentielles sont celles dans lesquelles le réglage est obtenu par une différence entre l'intensité dans le circuit et la force électro-motrice entre les charbons.

En règle générale, le premier mérite d'un régulateur, c'est sa simplicité et sans vouloir ne rien donner d'absolu à ce sujet, je peux cependant rappeler que c'est précisément la condition la plus négligée par les inventeurs qui, pour la plupart n'ont vu dans leurs appareils, qu'une application d'idées splendides au point de vue théorique, mais aussi, bien souvent désastreuses dans les applications, car il ne faut pas oublier que l'électricité, par sa nature même, éminemment subtile et paraissant devoir se plier à toutes les exigences, n'en de-

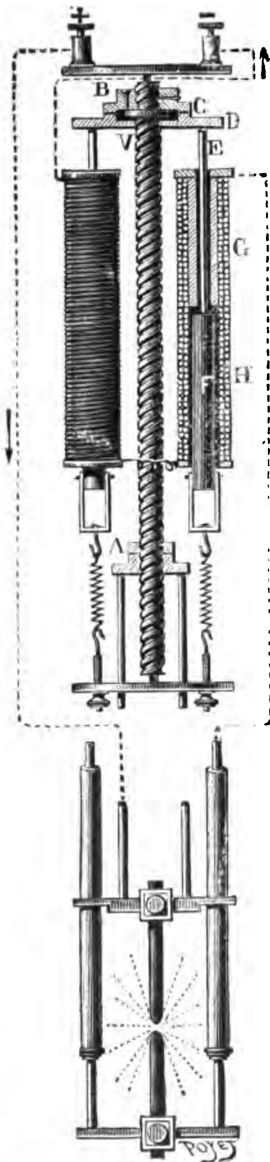


Fig. 27. — Lampe Cance.

mande pas moins dans son emploi, une précision et un soin tout à fait spécial ; il en résulte que malgré le grand nombre de systèmes de régulateurs existants, il y en a très peu de véritablement bons. aussi, l'on ne saurait trop conseiller aux industriels de bien se persuader que l'économie devant résulter de l'emploi de l'électricité, ne réside pas dans le prix plus ou moins bas auquel ils font une installation électrique, mais bien dans un choix judicieux de tous les appareils composant leur installation; la facture d'un fournisseur ne se paie qu'une fois, tandis que la dépense d'un mauvais appareil est payable chaque fois que l'on s'en sert.

Je ne passerai pas ici en revue tous les régulateurs à arc, je me contenterai simplement d'examiner deux ou trois des types les meilleurs parmi ceux employés.

Lampe Cance. — Parmi les régulateurs à arc employés dans l'industrie, les uns, sont principalement destinés à se placer en tension sur un même circuit, d'autres, au contraire, demandent plutôt l'installation en dérivation, qui a l'avantage de conserver l'indépendance absolue de chaque foyer, et au nombre de ces derniers, l'un des plus répandus est certainement le régulateur Cance.

Comme le montre la (fig. 27) il est composé d'une vis centrale pla-

cée verticalement entre deux pivots faisant corps avec les plateaux extrêmes ; cette vis est reliée à sa partie inférieure avec un écrou A supportant l'un des charbons, et à sa partie supérieure avec un autre écrou B,reposant sur un petit plateau C, calé sur la vis.

A une faible distance de l'écrou B, est situé un plateau annulaire D, porté par deux bras diamétralement opposés sur deux tiges de cuivre E, reliées aux pièces F, qui servent de noyaux aux solénoïdes H, et sont équilibrés au moyen de ressorts antagonistes amarrés sur le plateau inférieur.

L'écrou A encore appelé écrou-moteur, tend toujours à descendre par l'effet de son propre poids, mais étant lié aux deux tringles du porte-charbon supérieur, il ne peut donc tourner, et comme c'est la vis qui est libre, c'est elle qui tourne, entraînant dans son mouvement l'écrou B ou écrou régulateur, de sorte que lorsque le courant ne passe pas, par l'action seule de la pesanteur, les charbons sont ainsi amenés en contact.

Si l'on met la lampe en circuit, le courant passe d'abord par les charbons, puis par les solénoïdes dont les noyaux s'élèvent alors en entraînant dans leur mouvement ascentionnel le plateau annulaire D, dont la surface vient adhérer à celle de l'écrou régulateur. L'ensemble, en continuant à s'élever, soulève B qui, faisant corps avec D, ne peut que faire tourner la vis de droite à gauche, par conséquent, faire remonter l'écrou moteur A, et par suite, le porte-charbon supérieur. Les crayons se trouvent ainsi ecartés et l'arc se produit.

Lorsque par suite de l'usure des charbons, leur écartement devient trop grand, l'intensité du courant circulant dans les solénoïdes diminue ; leur puissance magnétique active, devient plus faible, et les noyaux sollicités à la fois par leur propre poids et par les ressorts antagonistes, descendent entraînant avec eux le disque D et l'écrou régulateur. Ce mouvement se produit jusqu'au moment où l'adhérence du

disque D et de l'écrou B devient assez faible pour ne plus résister à l'action de la pesanteur déterminée par l'écrou moteur qui, par son mouvement de descente, rapprochera progressivement les charbons de façon à les ramener à leur distance normale. A partir de ce moment, il se produira une série de variations dans l'adhérence des surfaces du plateau annulaire et de l'écrou régulateur, et c'est cette suite d'actions différentes qui permettent l'avancement régulier et imperceptible, mais continuel des charbons. Ces variations sont produites sous l'influence de l'affaiblissement de la puissance attractive des solénoïdes sur leurs noyaux qui, en descendant, diminuent l'adhérence des surfaces entre l'écrou régulateur et le plateau.

D'après ce qui précède, l'on voit que l'action ne se produit en réalité directement que sur le charbon supérieur. Pour conserver la fixité du point lumineux, l'on a disposé sur les côtés de la lampe, un petit palan mis en jeu par l'écrou moteur, de telle sorte que la descente de ce dernier fasse en même temps monter le porte-charbon inférieur. Les deux crayons avancent donc l'un vers l'autre d'une quantité proportionnelle à leur usure réciproque et maintiennent ainsi l'arc à une hauteur constante.

Comme je l'ai déjà fait remarquer, le régulateur Cance est surtout destiné à fonctionner en dérivation, c'est-à-dire que chaque lampe demande à être alimentée par un circuit spécial pris sur les bornes de la dynamo. Ce n'est pas que ce genre de régulateur exige cette disposition d'une façon absolue, mais c'est là surtout la condition dans laquelle il donne le meilleur résultat.

Voici maintenant comment les choses sont disposées : Deux cables partent des bornes de la dynamo et conduisent le courant à un tableau de distribution (fig. 28) qui le dérive en autant de circuits qu'il y a de lampes et comme toutes ces dernières ne sont pas à la même distance et que, par conséquent, les différents circuits n'ont pas la même résistance, l'on intercale un rhéostat sur chaque branchement de façon à

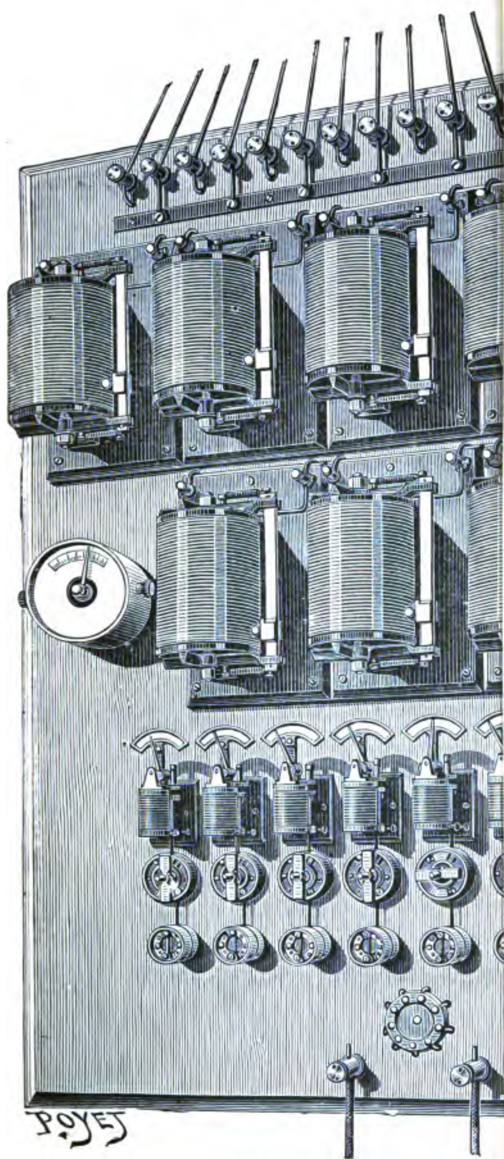


Fig. 28. — Tableau de

pouvoir ramener pour chacun d'eux, la tension aux bornes de l'appareil à sa valeur normale.

Le rhéostat système Cance (fig. 24) se compose d'un fil de maillechort enroulé sur un cylindre isolant de façon à former une hélice à pas régulier, le courant entre par l'une des extrémités du fil et ressort par une réglette placée sur le côté sur laquelle peut se mouvoir un petit curseur que l'on fait monter ou descendre de façon à le mettre en contact avec une spire d'un rang plus ou moins élevé.

Pour faire varier la résistance, il suffit donc de déplacer le petit contact dont je viens de parler, de façon à faire traverser au courant une plus ou moins grande longueur de fil ;

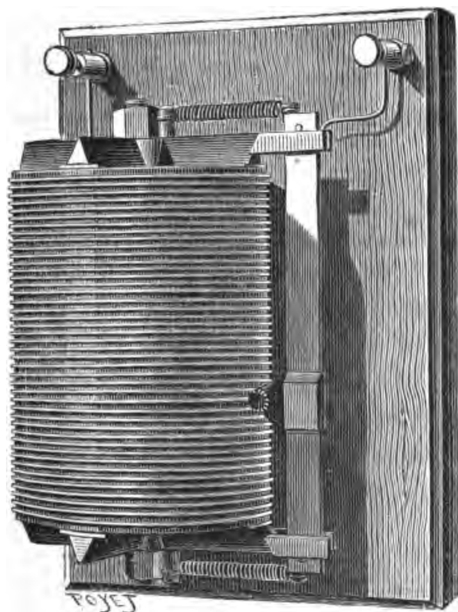


Fig. 24. — Rhéostat Cance.

l'on conçoit que dans ces conditions, le nombre de spires étant très grand, l'on puisse ainsi faire varier la résistance dans de grandes limites.

Pour compléter le tableau de distribution, on lui adjoint un voltmètre et un ampèremètre permettant de vérifier les constantes.

Les types les plus courants de ce genre de régulateurs sont les suivants :

Type	Intensité du courant en Ampères.	Force électromotrice en volts aux bornes de la Lampe	Puissance lumineuse en Carcels
A	de 7 à 12	de 45 à 50	de 150 à 80
D	de 3 à 6	de 40 à 45	de 70 à 35
E	de 20 à 30	de 50 à 55	de 500 à 200
G	de 30 à 50	de 55 à 60	de 800 à 550

Les lampes Cance sont maintenant très répandues, je n'entrerai donc pas plus avant dans leurs détails, et je me contenterai de faire remarquer que si leur mode de montage est plus coûteux que celui dit en tension, en revanche, il permet aussi d'obtenir une plus grande fixité dans la lumière, chaque lampe conservant par ce moyen son indépendance absolue.

Avant de quitter l'étude de ce système de régulateur, je saisis l'occasion qui se présente de réfuter une objection que l'on a fait à l'adoption de la lumière à arc pour éclairer les monuments ou les salles de réunion. L'on a reproché aux régulateurs leur forme nue, un peu brutale, et disaient les détracteurs, impropre à se plier aux exigences de la décoration architecturale, en ce sens que leur appareillage situé à la partie supérieure, ne permettait pas une disposition harmonieuse.

M. Boileau l'architecte des magasins du Bon Marché à Paris,

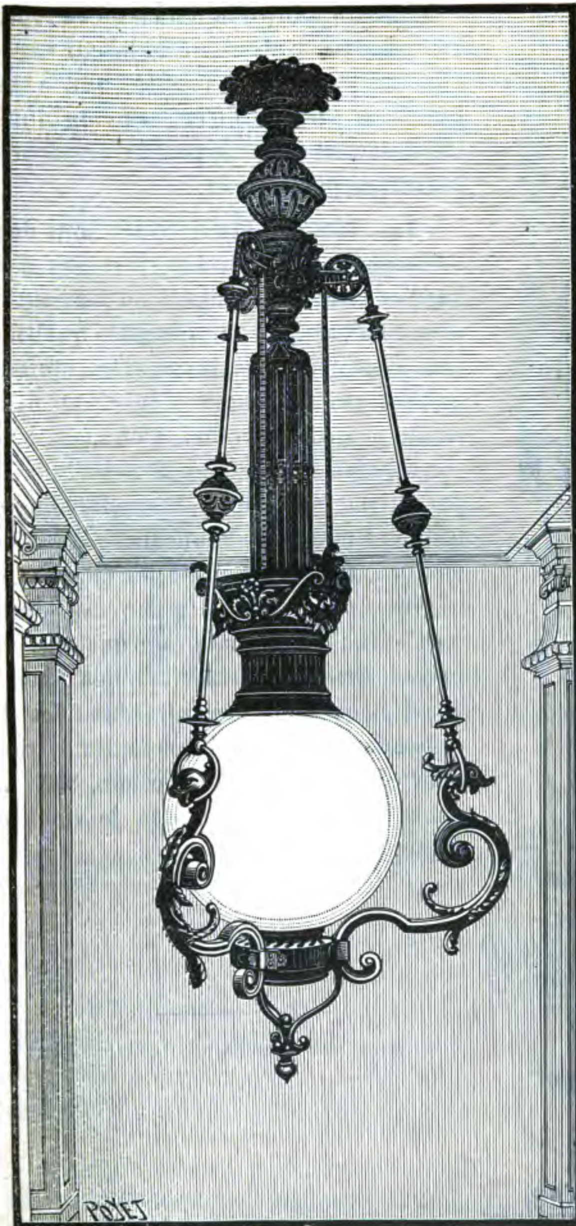


Fig. 29. — Appareillage de la Lampe Cance.



Fig. 30.
Régulateur Cance.

a démontré toute l'injustice de ce reproche, il a enveloppé et placé le régulateur Cance dans une suspension en bronze qui, comme le montre la (fig. 29) n'en cède absolument en rien aux plus jolis appareils employés dans l'éclairage par le gaz.

Ces lampes étant avant tout destinées à l'emploi industriel, il ne faut pas s'étonner que l'on n'ait pas songé à en faire des motifs d'architecture, car la principale qualité qu'on leur avait demandée jusqu'alors, était surtout la plus grande simplicité possible; mais l'exemple précédent montre bien que le jour où l'on voudra s'en donner la peine, l'on pourra parfaitement approprier les appareillages électriques à toutes les applications que l'on peut en faire, et il ne faudrait pas croire que l'installation citée ne soit qu'un cas tout à fait spécial, ne comprenant que quelques régulateurs, c'est au contraire une des plus considérables qui aient été faites dans des établissements privés, car elle comprend, rien que pour le cas qui nous occupe, 300 Lampes Cance appareillées comme je viens de l'indiquer.

Lampe Pilsen. — L'une des lampes à arc les plus employées dans l'industrie est certainement la lampe Pilsen, inventée par MM. Piette et Krizik, mais plus souvent connue sous le nom de la ville de Bohême où elle fut primitivement construite. L'un de ses caractères essentiels est l'absence complète de tout mécanisme.

Cette lampe comporte deux solénoïdes, A A', dont l'un, A envidé de gros fil est placé sur le circuit de l'arc, et dont l'autre A' à fil fin, est enclanché en dérivation aux bornes de la lampe.

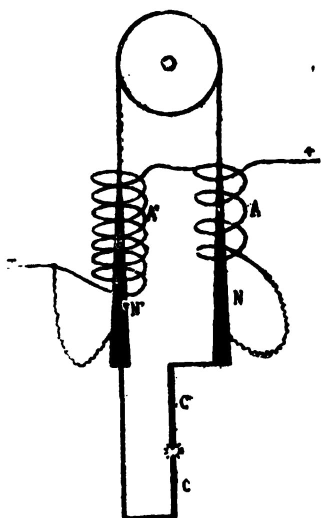


Fig. 21.
Schéma de la lampe Pilsen.

Des noyaux coniques en fer, placés dans les solénoïdes se trouvent attirés lorsque le courant traverse ces derniers. La forme conique a été choisie pour avoir une attraction sensiblement égale sur toute la course, ce qui n'aurait pas eu lieu avec des noyaux cylindriques. Les deux tiges sont reliées l'une à l'autre par leur partie supérieure au moyen d'un cable de soie, passant sur une poulie, et les porte-charbons sont fixés à leur partie inférieure.

Quand la lampe fonctionne, le courant passe par A, forme l'arc et sort à l'autre borne d'où il se rend à la lampe suivante ou retourne à la dynamo. Une dérivation traverse le solénoïde A', et cette dérivation est d'autant plus forte que l'écart des charbons, c'est-à-dire, la résistance de l'arc est plus grande. Les deux porte-charbons se trouvent donc soulevés et en équilibre.

A l'allumage, quand les crayons se touchent, A' attire très peu sa tige de fer, A au contraire attire fortement la sienne,

déterminant ainsi un écart entre les charbons, et la formation de l'arc ; l'écartement se produit jusqu'à ce que l'action attractive de A' devienne égale à celle de A et rétablisse ainsi l'équilibre.

Dès que les charbons s'usent, si peu que ce soit, la résistance du circuit ANN' devient plus grande, la dérivation qui traverse A' augmente d'intensité, l'action attractive de A' prédomine et le rapprochement s'opère.

La lampe constitue donc une balance très sensible, s'inclinant dès que la plus petite différence d'attraction, c'est-à-dire la plus petite usure des charbons se manifeste. Le réglage s'opère constamment et la lumière reste absolument fixe.

Ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte par l'examen de la figure, les porte-charbons sont guidés dans leurs courses par deux petites poulies à gorge, situées à la partie supérieure et roulant entre des glissières verticales qui servent en même temps de supports aux deux solénoïdes.

Le courant après avoir traversé la bobine A passe aux charbons par l'intermédiaire de cables souples C et C' tordus en spirales.

La simplicité de la lampe a permis d'isoler le batis ; ce qui n'a pas lieu dans bien des lampes dans lesquelles il est relié à l'un des pôles, et sert de conducteur. Si l'on a, pour une cause ou pour une autre, besoin de toucher à l'appareil pendant qu'il est en circuit, l'on s'expose à recevoir des secousses toujours désagréables et quelquefois dangereuses.

La (fig. 31) montre la lampe complète avec son appareillage, comme on peut s'en rendre compte, le globe opalisé a été choisi de grandes dimensions afin de répartir bien uniformément la lumière.

Il existe un assez grand nombre de types de ces lampes et je donne dans le tableau suivant les quelques renseignements qui peuvent être intéressants sur chacune d'elles.

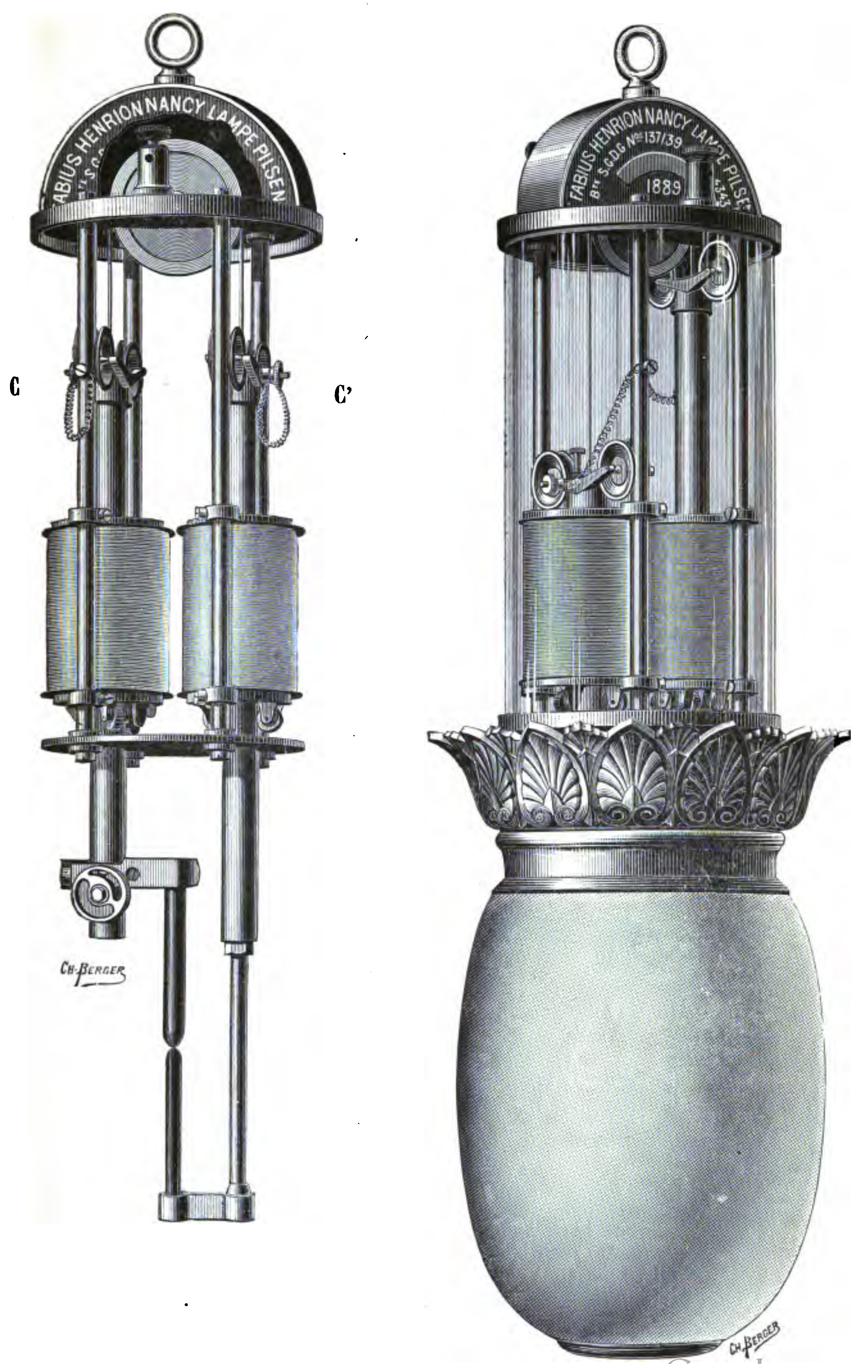


Fig. 31. — Lampe Pilsen

Intensité en ampères	2 à 4	5 à 6	8	10	12	16	20	24
Intensité lumineuse en bougies	180 250 300	5 à 600	1,000	1,500	2,000	3,000	5,000	6,000
Dépense de crayons par heure	0,02 à 0,05	0,03	0,045	0,07	0,08	0,10	0,12	0,16
Durée d'une paire de charbons	8 à 9h	9-10	11-12	11-12	12-13	11-12	11-12	11-12
Course utile	0m360	0,360	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470
Poids approximatif de la lampe sans globe.	8k	8	16	16	16	16	16	16

Comme le montre ce tableau, la durée moyenne des charbons est de 11-12 heures, cependant lorsque ces régulateurs fonctionnent dans des usines travaillant toute la nuit, ils sont disposés de façon à pouvoir brûler 17 heures consécutives sans qu'il soit nécessaire de toucher sux crayons.

Les lampes Pilsen peuvent être disposées soit en tension, soit en dérivation. Lorsqu'elles sont placées en circuit concurremment avec des lampes à incandescence. comme la plupart des machines qui alimente ces dernières fonctionnent à 100-110 volts, et que chaque arc Pilsen n'en demande que 45, on les accouple en tension par groupe de deux, chaque groupe étant lui-même en dérivation sur le courant principal, ce qui permet d'absorber une force moitié moindre que si l'on était obligé de les placer en dérivation simple, et permet une économie notable dans la canalisation.

En dérivation simple, ces lampes avec leur rhéostat, fonctionnent a à 55 volts, tandis que beaucoup d'autres systèmes demandent dans les mêmes conditions jusqu'à 70 volts.

Placées sur des dynamos à 110 volts et par groupe de deux tensions, les arcs Pilsen fonctionnent dans les conditions suivantes :

6 lampes de 150 bougies absorbent un cheval-vapeur, et brûlent 7 heures avec une consommation de charbon polaire de 0,02 par lampe et par heure.

2 lampes de 600 bougies absorbent un cheval-vapeur, brûlent 8 heures et consomment moins de 0,04 de charbon par lampe et par heure.

2 lampes de 1000 bougies absorbent 1,6 cheval-vapeur, brûlent 12 heures avec une consommation de charbon inférieure à 0,05 par lampe et par heure.

La disposition en tension qui est indispensable pour les circuits de grande longueur et qui, dans tous les cas, donne des résultats supérieurs à ceux que l'on obtient avec la dérivation est certainement la plus rationnelle, car elle permet d'absorber une force bien moindre que dans le cas précédent: mais elle n'est possible que dans les cas suivants :

1° Lorsque toutes les lampes d'une installation sont d'intensité uniforme.

2° Lorsque l'installation est assez importante, et que le nombre des lampes est en quantité telle que l'on puisse affecter une machine spéciale à l'incandescence, et une autre aux régulateurs à arc.

Quoiqu'il en soit, la simplicité de ce genre de régulateur et son fonctionnement économique, en font un appareil essentiellement industriel, n'ayant besoin d'aucun réglage, et fonctionnant régulièrement. C'est actuellement parmi les régulateurs pouvant fonctionner indifféremment en tension ou en dérivation, l'un des meilleurs connus, aussi les arcs Pilsen se sont répandus très rapidement dans l'industrie, et ils sont d'un usage fréquent, tant en France, qu'en Allemagne et en Autriche.

Lampe Alpha. — Dans ces derniers temps, la C[ie] Continentale Edison ayant adopté un nouveau type de régulateur à arc (Maquaire et Street) auquel elle a donné le nom de lampe alpha, et dont elle se propose de répandre l'usage dans ses installations futures, il peut devenir intéressant de connaître cet appareil, dont je donne, ci-dessous, la description, m'abstenant de tout commentaire sur les résultats acquis, qui sont encore trop nouveaux pour pouvoir donner une appréciation certaine et absolue sur les rendements.

La lampe se compose essentiellement d'un solénoïde avec armature à relai envoyant le courant tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, dans une petite dynamo qui actionne la tige à crémaillère porte-charbon supérieur, par l'intermédiaire d'un équipage de roues dentées.

Au repos, cette crémaillère n'embraye pas sur l'équipage des roues, porté par un petit arbre intermédiaire.

A l'allumage, le courant passant par les électros D, les aimante, l'arbre intermédiaire, supporté par une armature de fer doux, se trouve attiré et les roues s'embraient sur la crémaillère qui est alors susceptible de prendre un mouvement d'ascension ou de descente, suivant que l'arc est trop court ou trop long et que le petit moteur électrique tourne dans un sens ou dans l'autre.

Ce régulateur, comme on le voit, fait donc partie du type dit à moteur, c'est-à-dire, des lampes dont les porte-charbons sont actionnés par une petite dynamo qui les fait avancer ou s'éloigner l'un de l'autre pour obtenir leur écartement normal. De plus, la lampe alpha est à point luminenx mobile, puisque le crayon supérieur est le seul susceptible de se déplacer.



Fig. 32. — Lampe alpha de la Cie Continentale Edison.

VIII

Les lampes à incandescence que tout le monde connaît, se composent d'un petit globe en verre, hermétiquement clos, dans lequel on a fait le vide après y avoir placé un filament de charbon extrêmement tenu, dont les extrémités aboutissent au dehors à deux conducteurs métalliques que l'on peut relier à la canalisation principale. Quelque soit leur système, toutes comportent les parties constituantes que je viens d'énumérer, et la seule différence entre les types réside exclusivement dans le choix de la matière employée pour la fabrication du filament de charbon. .

Ainsi dans la lampe Edison, ce filament qui a la forme d'un U allongé, est obtenu par la calcination de fibres de bambou; dans la lampe Maxime, il a la forme d'un M d'environ 113 $^{m}/_{m}$ de développement et provient de la carbonisation d'un carton de Bristol roussi entre deux plaques de fonte ; dans la lampe Lane Fox, il provenait de brins de chiendent durcis par le soufre et l'oxychlorure de zinc, puis calcinés ; sa section est alors circulaire et son développement de 86 $^{m}/_{m}$ Dans la lampe Swan qui est une des plus employées, le filament est composé de tresses de coton traitées d'abord par l'acide sulfurique, puis carbonisées, il est de section circulaire et a la forme d'une boucle destinée à concentrer la lumière dans la partie centrale du globe. Dans la lampe Whoodhouse et Rawson qui est plus récente, l'on suppose que le filament est obtenu comme celui de la lampe Swan, et qu'il est en outre renforcé par un dépôt de carbone provenant de la décomposition d'un hydrocarbure. Dans la lampe Gérard, il est fait de poudre de charbon finement pulvérisé et aggloméré, puis passé à la filière et soumis à un traitement spécial, ayant pour but de lui donner de l'élasticité et de l'homogénéité ; il a la forme d'un V renversé, enfin dans la lampe Cruto, le filament est obtenu par le dépôt sur un fil de platine du carbone résultat de la décomposition d'un hydrocarbure et il présente à

peu de chose près, la forme du filament de la lampe Gérard, mais est tubulaire afin d'offrir une plus grande surface d'émission.

En règle générale, les méthodes de préparation de ces filaments sont très délicates, et il est à peu près impossible de savoir au juste, par le mode de préparation, quel sera le résultat; car, il peut parfaitement arriver que deux lampes semblables, préparée de la même façon et dans les mêmes conditions, ne présentent par une résistance égale.

Il est cependant remarquable, que malgré toutes ces difficultés, malgré la manutention compliquée qu'exige leur fabrication, l'on arrive aujourd'hui à lıyrer ces lampes à un prix relativement très bas.

Bien que leur composition soit essentiellement différente, certaines lampes, telles que les Swan, les Edison, les Whoodhouse et Rawson, les Khotinski donnent actuellement à peu près les mêmes résultats comme consommation de courant, soit de 3 watts 1/2 à 4 watts par bougie. Les conditions exigées pour leur fonctionnement sont à peu près identiques, aussi, le choix d'une lampe à incandescence, offre-t-il à l'industriel, une bien plus grande marge que celu id'un régulateur à arc.

Dans les cas spéciaux où l'on se trouve restreint au point de vue de la force motrice, l'on fait quelquefois usage de la lampe Gérard, dont j'ai indiqué plus haut la composition du filament; ces lampes sont à faible force électro-motrice et à grande intensité et c'est là l'un de leurs caractères distinctifs, il en résulte que, si l'on employait dans une installation importante, le montage ordinaire en dérivation, l'on arriverait rapidement à un nombre fort élevé d'ampères, ce qui obligerait à faire usage de conducteurs de gros diamètre et augmenterait par suite, d'autant, les frais de canalisation. Pour obvier à cet inconvénient, l'on place en quantité, sur le circuit un nombre de lampes tel que la somme des tensions du groupe ainsi formé, soit égale à la différence de potentiel des bornes de la source dont on dispose. Ainsi, les lampes les

plus généralement employées fonctionnent à 20 volts, ce qui force à les réunir par 5 en tension sur le courant des machines employées par l'industrie, qui marchent à 100-110 volts. L'on conçoit donc facilement que ceci peut dans certains cas, constituer un inconvénient qui, s'il n'est pas très grave, peut cependant devenir coûteux, car cette disposition force d'abord à allumer ou éteindre 5 lampes à la fois, et d'un côté, lorsque par suite d'un accident, l'une d'elles se trouve hors d'usage, la tension augmente pour les autres, et peut ainsi, compromettre leur durée.

Lorsqu'une lampe à incandescence est livrée au commerce, comme je l'ai dit plus haut, les deux extrémités du filament sont en rapport avec deux conducteurs métalliques qui aboutissent au dehors, et qui pour la bonne marche, doivent se trouver en contact intime et continuel avec les conducteurs du courant. Pour arriver à ce résultat, l'on munit la lampe d'une pièce accessoire appelée douille, et dont le but est justement de remplir ces conditions. Il existe plusieurs sortes de douilles, mais les plus employées sont celles dites à vis et celles à baïonnette. En général, dans les douilles à vis, la lampe est fermée par une sorte de tampon de plâtre, garni d'un pas de vis en laiton relié par une soudure à l'une des extrémités du filament ; l'autre extrémité aboutit à un bouton en laiton placé dans l'axe du pas de vis. Cette lampe se fixe dans un support, dont la partie métallique est filetée et reliée à l'un des conducteurs, tandis qu'une pièce métallique, isolée de la précédente, est placée au fond et reliée à l'autre conducteur. Pour avoir le contact parfait, il suffit de visser la lampe à fond dans son support. Dans le système dit à baïonnette, les lampes sont bouchées par un tampon cylindrique de matière isolante, traversé par les deux conduc- qui viennent aboutir sur le fond de ce tampon ; aux deux extrémités d'un même diamètre du cylindre, sont placés en saillies deux petites tiges métalliques qui peuvent venir s'ajuster dans deux rainures recourbées à angle droit, et taillées à même la partie métallique du support, enfin, pour assurer un

contact intime entre le conducteur et les extrémités des fils de la lampe, deux petits ressorts à boudin viennent appuyer sur le fond du tampon de façon à coïncider avec les points de contact qui y aboutissent.

Quelque soit leur système, à vis ou à baïonnette, lorsque les douilles sont constituées telles que je viens de l'indiquer elles sont dites simples; et lorsqu'elles renferment dans leur intérieur un interrupteur permettant de les allumer ou de les éteindre à volonté, elles sont alors appelées douilles à clef.

L'on a l'habitude, pour concentrer la lumière émise par les lampes à incandescence, de disposer à leur partie supérieure un abat-jour ou une tulipe en verre dépoli, qui permet d'éviter aussi une déperdition de lumière vers le plafond.

Il existe un très grand nombre de types différents de lampes à incandescence que l'on a pris l'habitude de dénommer par le nombre de bougies ou de carcels correspondant à leur intensité lumineuse. Ainsi les plus courantes sont dites de 8 - 12 - 16 - 24 et 32 bougies. Remarquons cependant ceci, c'est que l'évaluation de l'intensité lumineuse donne souvent lieu à des appréciations différentes, et l'on estime également les intensités en carcels et en bougies, bien que l'on ne soit fixé, ni sur la valeur intrinsèque, ni même sur la valeur relative de ces deux mesures.

Suivant M. Monnier, la lampe Carcel brûle 42 grammes d'huile de colza épurée avec une flamme de 42 $^{m}/_{m}$ mais à partir de ce point, l'on n'est plus d'accord. Le carcel colza équivaut suivant M. Violle, l'auteur de l'étalon de lumière adopté, à 6,5 bougies stéariques, à 7,4 bougies spermaceti et 7,6 bougies paraffine, en pratique, l'on arrondit les chiffres et l'on dit que le carcel colza équivaut à 8 bougies de l'étoile brûlant chacune 11 g. 7, soit 93,50 de stéarine par heure. En Angleterre, l'on estime que le carcel équivaut à 10 candles

et c'est ce qui explique pourquoi beaucoup de lampes sont dites, par exemple, de 10 bougies par quelques uns et de 8 seulement par les autres. Certains constructeurs ont tendance à évaluer les lampes en mesures anglaises, pour paraître avoir un meilleur rendement, aussi ne saurait on recommander aux industriels de ne prendre ces indications que pour ce qu'elles valent, et de choisir un terme de comparaison mieux approprié et surtout plus fixe. Il y a en effet un point de repaire, plus sérieux, c'est l'énergie absorbée par chaque lampe, elle est donnée par le nombre de watts nécessaires à son fonctionnement et l'on peut facilement déterminer cette quantité au moyen du voltage et du nombre d'ampères consommés,

L'on construit des lampes de tout voltage et de toute intensité, mais il y a une limite maxima et minima que l'on ne peut pas dépasser; ainsi l'on ne fait guère de bonne lampe à incandescence, au-dessous de 8 bougies, et lorsque l'on dépasse 50 leur consommation devient onéreuse, aussi, comme je l'ai déjà indiqué, se maintient-on toujours entre ces limites.

J'ai réuni dans le tableau suivant quelques indications concernant l'intensité absorbée et le nombre de lampes que l'on peut alimenter par cheval de force dépensée pour les types les plus employées, et pour les tensions les plus courantes c'est-à-dire 50 et 100 volts.

Types — Bougies	Tension en volts	Intensité en ampères	Nombre de lampes que l'on peut allumer par force de cheval
8	100	0.30	14
8	50	0.60	14
16	100	0.60	8
16	50	1.20	8
32	100	1.20	5
32	50	2.40	5
50	100	2.00	3
50	50	4.00	3

Le travail absorbé étant donné par le produit des volts par les ampères, il est évident que plus le voltage est élevé, plus le nombre des ampères diminue, par conséquent, plus avec une source de même intensité, l'on pourra alimenter de lampes.

Toutes les bonnes lampes actuellement en usage absorbent à peu près 4 watts par bougie, soit 30-35 watts par carcel où 60-70 watts par lampe ordinaire de 16 bougies.

En règle générale l'on peut dire que dans les lampes à incandescence, l'intensité lumineuse diminue après un certain temps de marche, et cette altération est notamment très sensible avec les lampes Gérard. La moyenne de la durée d'une lampe à incandescence est de 1000 à 1200 heures, bien que l'on ne puisse rien donner d'absolu à ce sujet, car il en est qui peuvent durer plus de 2000 heures, alors que d'autres ne supporteront guère plus de 5 à 600 heures de travail, Ceci est assez facile à comprendre, si l'on considère que le filament peut n'être pas d'une section rigoureusement uniforme dans toute sa longueur, et la partie la plus mince qui présentera la plus grande résistance au passage du courant sera, celle qui souffrira le plus et contribuera à mettre rapidement l'appareil hors de service. De plus la durée d'une lampe dépend de l'intensité du courant qui la traverse, comme le montre le tableau suivant dont les chiffres ont été fournis par M. Zacharias, comme résultats d'expériences faites par lui à ce sujet.

La durée d'une lampe est donc relative et dépend de l'intensité du courant, ainsi que l'on peut s'en rendre compte par l'examen du tableau ci-contre.

Une lampe de 10 bougies normales dure, à raison de :		Une lampe de 8 bougies normales dure, à raison de :	
Bougies normales.	Heures.	Bougies normales.	Heures.
10	5 550	8	2 260
11	3 963	9	1 470
12	2 857	10	1 000
13	2 134	11	714
14	1 628	12	512
15	1 292	13	385
16	1 000	14	290
17	802	15	233
18	651	16	179
19	534	17	145
20	443	18	118
21	371	19	96
22	312	20	80
23	266		
24	228		
25	196		
30	163		

Comme le remplacement des lampes est l'une des principales dépenses d'une installation par incandescence, il ne faut donc pas dépasser la tension indiquée par les constructeurs, comme correspondant à une marche normale.

IX

Pour se faire une idée suffisamment exacte des conditions que doit réunir une bonne installation d'éclairage électrique, ce n'est pas tout de connaître le générateur et les lampes dont on veut faire usage, il y a encore un certain nombre de précautions à prendre et à établir un choix judicieux de certains appareils accessoires dont l'industriel ne doit pas être ignorant et que nous allons donc étudier brièvement dans cet article.

Dans la plupart des cas, la dynamo est actionnée par la transmission générale de l'établissement, elle doit alors être placée de façon que sa surveillance soit facile, mais avant tout elle doit se trouver dans un endroit sec, exempt de poussière et l'on doit éviter de la placer près de machines-outils de façon que les particules métalliques ne puissent se trouver attirées.

Le moteur commandant la dynamo doit avoir une marche bien uniforme, est il est de règle en général, d'avoir aussi peu d'arbre de couche que possible, bien que le rapport de transformation soit assez élevé,

Quant l'installation le permet. il est toujours préférable de se servir d'un moteur spécial pour la commande des dynamos, l'on peut alors mieux approprier les deux machines l'une pour l'autre, et d'un autre côté, si il arrive un accident à la machine motrice de l'établissement, l'on ne se trouve pas ainsi privé de lumière au moment même où l'on en a le plus besoin.

Dans l'établissement des transmissions nécessaires à la commande des dynamos, on estime que la perte de vitesse due aux glissements est d'environ 2 °/₀ par transmission, et dans le cas où un seul renvoi est établi entre l'arbre premier moteur et l'axe de la machine, de façon à placer le débrayage snr ce renvoi, l'on compte habituellement que la perte par glissement est alors de 5 °/₀.

Par exemple, si

N est le nombre de tours que la dynamo doit faire par minute,

D le diamètre de la poulie de la dynamo,

N_1 le nombre de tours de la transmission,

D_1 le diamètre de la poulie motrice, et que l'on désire connaître cette dernière valeur l'on se sert de la relation.

$$D_1 = \frac{N}{N^1} D$$

Dans laquelle D est augmenté de 2 %.

Une autre question importante est celle de la fondation des machines électriques. La rotation de l'armure de ces dernières étant généralement assez rapide, elle ne doivent pas trembler sous l'influence de cette vitesse, si grande soit elle, c'est dire que de ce côté il n'y a pas d'économie possible, et un excès de sécurité ne saurait jamais être blâmé. Lorsque l'on emploie des machines à haute pression, au-dessus de 250 à 300 volts par exemple, il faut toujours isoler le bâti de la dynamo, du massif en maçonnerie, et cela, soit au moyen moyen d'une plaque de bois sec, ou d'une couche d'asphalte. Il faut également isoler les boulons, car à ces hautes tensions l'on ne prendra jamais trop de précautions pour éviter les pertes faciles à se produire.

Lorsque la dynamo est mise en place, solidement fixée et que l'on s'est assuré à la main que l'armature tourne bien, l'on place la courroie qui doit toujours être de première qualité, et réunie par une couture aussi unie que possible, puis l'on essaie à circuit ouvert après avoir huilé les coussinets, et l'on examine si quelque partie s'échauffe et si le jeu de toutes les pièces paraît se faire convenablement. Dans le cas où l'on ne relève rien d'anormal l'on peut alors établir le courant que l'on augmente progressivement jusqu'à sa valeur réelle.

Une fois l'installation mise en marche, il faut entretenir la machine dans le plus grand état de propreté, le collecteur surtout doit toujours présenter une surface bien lisse et bien

nette, et à ce sujet le mieux est de le nettoyer de temps à autre pendant la marche, au moyen d'un linge, très sec, que l'on enroule sur une règle plate en bois et que l'on appuie ainsi sur la surface. Il faut être très prudent pour ces manipulations, afin d'éviter de recevoir des décharges, surtout dans les dynamos en tension.

Quant le collecteur se trouve inégalisé par suite de la morsure des étincelles, on doit le repolir en se servant de papier émeri, très fin, puis bien essuyer la surface avec un linge, afin d'éviter que des poussières métalliques, en s'accumulant sur la couche isolante, placée entre les lames, ne puisse réunir ces dernières, et par suite, mettre les bobines de l'armature en court circuit.

Il arrive quelquefois que l'on a besoin d'avoir recours à la lime pour repolir le collecteur, mais alors, il ne faut confier ce travail qu'à un ouvrier bien expérimenté et encore ne doit-on employer ce moyen que le moins souvent possible.

J'ai dit, en parlant des balais, quelles étaient les conditions qu'ils devaient remplir en marche normale, je n'y reviendrai donc pas, je rappelle simplement que les étincelles qui s'y produisent doivent être réduites au minimum possible, et ne jamais jaillir par dessus la surface de contact.

Si l'un des balais étant placé de façon à avoir le minimum d'étincelles, il s'en produisait à l'autre une quantité beaucoup plus grande, c'est qu'ils seraient inégalement usés ou que leurs positions réciproques ne seraient pas normales, ou bien encore que l'un des inducteurs recevrait une excitation plus forte que l'autre.

Lorsque les étincelles se produisent avec une trop grande intensité il faut en rechercher la cause dans l'un ou l'autre des cas suivants :

1° La surface du collecteur est trop usée, ou le collecteur est couvert d'huile et de poussière, ceci peut facilement s'apercevoir.

2° Il peut y avoir un contact dans le circuit extérieur, alors la résistance est diminuée ;

3° Le courant peut être trop fort pour la dynamo qui s'échauffe considérablement, et c'est ce qui se présente lorsque sur une machine en tension l'on a placé trop de lampes en circuit.

Quant ce dernier cas se produit, l'on s'en aperçoit dès la mise en marche, aussi, lorsqu'une installation a déjà fonctionné convenablement, ne faut-il pas chercher la cause produisant les grandes étincelles que dans l'un ou l'autre des deux premiers cas que j'ai signalés plus haut.

Pour relier la dynamo aux appareils utilisateurs, l'on se sert de fil de cuivre à haute conductibilité, qui est tantôt nu, tantôt recouvert d'une couche de matière isolante, afin d'éviter les contacts avec l'air ambiant ou les pièces qui peuvent se trouver à proximité.

Quant la canalisation est extérieure, l'on emploie généralement le fil nu comme conduite principale, et l'on réserve les fils isolés pour les dérivations conduisant aux lampes ou aux appareils accessoires. Pour fixer les premiers, l'on se sert des isolateurs à cloche que tout le monde connait, et pour les derniers l'on emploie plutôt des espèces de petites poulies en porcelaines qui coûtent moins cher et sont d'un volume plus réduit.

Dans les locaux intérieurs, l'on se sert toujours de fils isolés, et le plus souvent, pour éviter les contacts, ils sont logés dans des lattes dont l'une présente deux rainures dans chacune desquelles est logé l'un des fils, et dont l'autre sert à recouvrir la première. L'on est certain ainsi, que par suite d'un choc ou de tout autre cause, l'un des fils ne viendra pas en contact avec l'autre.

Les conducteurs d'une installation électrique, qu'ils soient nus ou isolés, doivent toujours présenter une section telle

que le passage du courant ne puisse déterminer leur échauffement. Pour cela, étant donnée l'intensité du courant et la résistance du conducteur, l'on détermine la perte de tension qui se produit dans la canalisation, au moyen de la formule bien connue :

$$E = I \times R.$$

En général, la perte de tension, dans le conducteur ne doit pas, pour un générateur fonctionnant, par exemple à 110 volts, être supérieure à 10 volts, de sorte que sur une machine de 110 volts, l'on peut alimenter des lampes exigeant 100 volts à leurs pôles.

Dans ces conditions, l'on considère comme normale, une intensité de 2 ampères par centimètre carré de section, et l'on ne doit jamais dépasser 3 ampères, même dans les conditions les plus avantageuses.

Lorsque le courant dépasse la normale, il faut pouvoir l'interrompre par un moyen ou par un autre, de façon à éviter de mettre hors d'usage trop promptement les appareils que l'on emploie à la production de la lumière ; pour cela, l'on se sert d'appareils de sûreté, encore appelés fusées de sécurité. Ils sont composés d'un fil de plomb de dimensions telles, que ce dernier, fonde avant que le conducteur ne soit traversé par un courant nécessaire pour endommager les lampes. Ces appareils se placent à l'embranchement de chacune des dérivations, de façon à être facilement accessible, et ils se placent tous sur un même conducteur positif ou négatif, car il serait défectueux de les adapter tantôt sur un circuit tantôt sur l'autre. En règle générale, l'on divise les lampes par groupes d'une dizaine et l'on place une fusée de sécurité sur l'embranchement de chaque groupe. La longueur de ces fils ne doit pas être inférieure à 30 m/m quant à leur section, pour la déterminer, il faut remarquer que ce genre de fils peut supporter une intensité de 8 ampères par millimètre carré pour les petits diamètres, et et 5 à 6 pour les grands diamètres.

Dans tout éclairage, il faut pouvoir admettre ou interrompre à volonté le courant dans l'une quelconque des dérivations de l'installation, et à cet effet l'on emploie des interrupteurs, ce sont des appareils dont l'axe est relié d'une part avec le circuit extérieur, et dont l'autre pôle peut être mis en contact avec le précédent au moyen d'un ressort à manette, facilement manœuvrable, et placé à proximité des surveillants. Lorsqu'on met en circuit ou hors circuit les différents appareils, le contact doit pouvoir être établi ou supprimé très rapidement ; et pour assurer un contact parfait, les pièces doivent faire ressort l'une contre l'autre aussi énergiquement que possible.

Je ne saurais trop recommander d'éviter l'emploi de plombs de sécurité comme interrupteurs, ceci pouvant avoir les plus graves conséquences, lorsque l'ouvrier chargé de leur remplacement reçoit une commotion, produite au moment où le contact s'établit entre les deux fils de la ligne.

Dans les lampes à arc, j'ai indiqué qu'il y avait un écartement bien déterminé des charbons pour lequel la longueur de l'arc était la plus favorable.

Quant à la tension aux pôles, elle est, dans les lampes d'une intensité de 8 ampères, d'environ 45 volts. Pour les courants plus faibles, elle diminue ; ainsi, pour les arcs de 4 ampères, elle n'est plus en moyenne, que de 40 volts, tandis qu'elle augmente lorsque l'intensité dépasse 8 ampères. Ainsi pour les 80 ampères, il faut environ 55 volts.

En règle générale, lorsqu'une lampe à arc a été expédiée par un constructeur, pour fonctionner dans certaines conditions, le mieux est de la placer suivant les indications du fournisseur, et sans n'y rien changer, car le constructeur règle et vérifie généralement cette lampe avant son expédition, et le meilleur moyen pour en obtenir un bon résultat est de la placer dans les conditions indiquées, sans rien toucher au mé-

canisme. Il faut donc avant tout exiger que la tension et l'intensité restent normales. Quand des lampes sont montées en série, si l'une des lampes se trouve pour une cause ou pour une autre, mise hors circuit, il faut, soit intercaler de la résistance, soit décaler les balais, et à cet effet, l'on a même inventé et l'on construit des régulateurs automatiques de décalage de balais, mais comme je l'ai dit, ces appareils ne sont pas applicables à tout les cas, et sont spécialement réservés à des machines tirant peu d'étincelles.

Quand des lampes à arc sont montées en dérivation simple, ou par groupe de deux par deux en tension, l'on intercale devant chaque lampe dans le premier cas, ou devant chaque groupe de lampes dans le second cas, une résistance qui permet en marche normale, d'absorber le complément de la différence de tension existant entre les points considérés, et celle devant exister aux pôles de la lampe. Ainsi, par exemple, si l'on emploie des lampes Pilsen, chacune d'elle exigeant dans ce cas une différence de 45 volts aux bornes, soit 90 volts par groupe de 2 en tension, il faut donc pouvoir absorber les 110 volts fournis par la dynamo et dont 90 sont nécessaires aux lampes, de 5 à 10 sont perdus dans la canalisation, et le reste sera précisément ce que la résistance devra compenser.

X

Avant de quitter définitivement le chapître relatif à l'éclairage électrique je vais dire quelques mots d'appareils qui sont quelquefois employés dans les installations, et au sujet desquels il est bon de savoir ce que l'on doit en penser, ce sont les accumulateurs.

Les accumulateurs sont basés sur les propriétés des courants secondaires ou de polarisation ; je rappelle donc brièvement en quoi consistent ces derniers. Lorsque l'on décompose l'eau dans un voltamètre, si l'on interrompt les communications avec la source, et que l'on réunisse par un fil les deux lames qui ont servi d'électrodes, on peut constater la production d'un courant de sens contraire au premier, et de durée très courte, auquel l'on a donné le nom de courant secondaire. Il faut attribuer ce dernier à la tendance qu'ont les produits de la décomposition accumulés sur les électrodes à se recombiner. Le but des accumulateurs est précisément d'utiliser ces courants secondaires, et d'emmagasiner par la polarisation, une certaine quantité d'électricité, qui doit être ensuite restituée au fur et à mesure des besoins.

Le premier appareil de ce genre est dû à M. Planté, il se composait de deux lames de plomb, plongeant dans l'eau acidulée au dixième par de l'acide sulfurique. Ces lames étaient enroulées concentriquement et maintenues également distantes par deux bandes de caoutchouc, afin d'éviter les contacts ; le tout était placé dans un vase cylindrique en verre, clos par un bouchon dans lequel était ménagé un trou pour le dégagement des gaz, et le remplissage de l'appareil. Enfin, sur le couvercle, deux bornes métalliques étaient reliées à chacune des lames de plomb.

Voici maintenant comment fonctionnait cet accumulateur.

L'on commençait par le relier à une pile ordinaire formée soit de 2 couples Bunsen, soit de 3 couples Daniell, dans ces

conditions, l'eau est décomposée, son hydrogène se porte sur l'électrode négative et son oxygène sur l'électrode positive, qu'il attaque peu à peu, pour former à la surface, une couche brune de bioxyde de plomb. Aussitôt que l'oxygène commence à se dégager, l'on arrête l'opération, car la charge a alors atteint son maximum. Lorsque l'on veut décharger l'élément ainsi formé, l'on réunit chacune de ses bornes à un conducteur métallique et il suffit alors de fermer le circuit sur lui-même, le bioxyde formé sur la lame de plomb, se réduit alors à l'état d'oxyde pour former avec l'acide sulfurique contenu dans la liqueur, du sulfate de plomb, tandis que l'oxygène mis en liberté attaque la lame négative, pour donner finalement naissance à du sulfate de plomb, et les choses continuent de la sorte, jusqu'à ce que tout le bioxyde formé sur la première plaque soit entièrement réduit.

Comme on le voit, le fonctionnement de cet appareil était assez simple, cependant, il présentait un inconvénient capital c'était la lenteur de sa formation, car, en réalité, lorsque l'on opérait comme je viens de l'indiquer, il fallait charger et décharger successivement l'appareil, un très grand nombre de fois, avant d'obtenir un résultat notable, et ceci tenait à la difficulté que rencontrait l'oxygène pour l'attaque du plomb, aussi, pour remédier à cet inconvénient, l'on fut amené à laisser les plaques séjourner de 24 à 48 heures dans de l'acide nitrique étendu, afin d'augmenter la porosité du métal, mais, même dans ces conditions, la formation demandait encore une semaine.

Pour éviter les pertes de temps, dues à la formation des accumulateurs, l'on a cherché à obtenir des dispositions ou des formes de plaques plus favorables à la pénétration de l'oxygène, comme, par exemple, dans l'accumulateur Reynier, où les lames sont triées et plissées ; dans l'accumulateur Faure, l'on a été plus loin et l'on a substitué au dépôt d'oxyde de plomb formé par voie électrique, un oxyde que l'on fixe par des procédés mécaniques. Ce dernier accumulateur a été

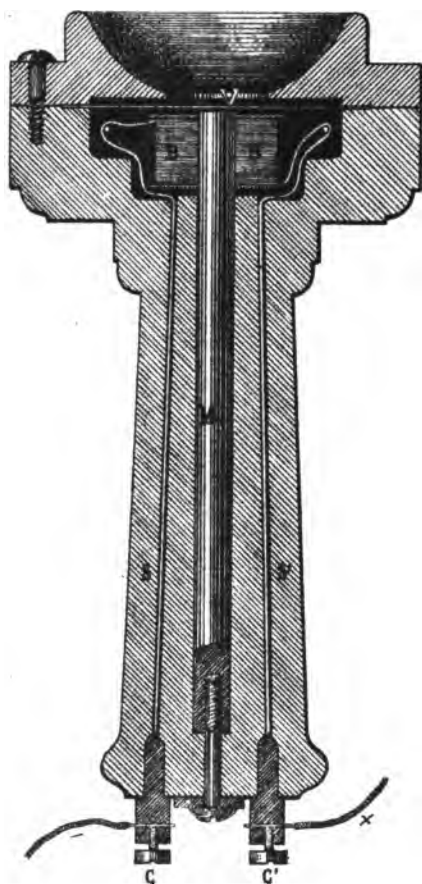


Fig. 33. – Téléphone Bell.

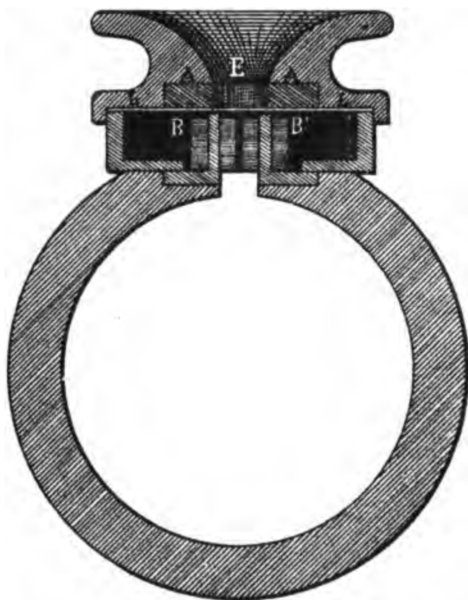


Fig. 34 – Téléphone Ader.

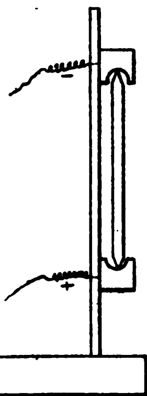


Fig. 35 – Principe du Microphone Hughes.

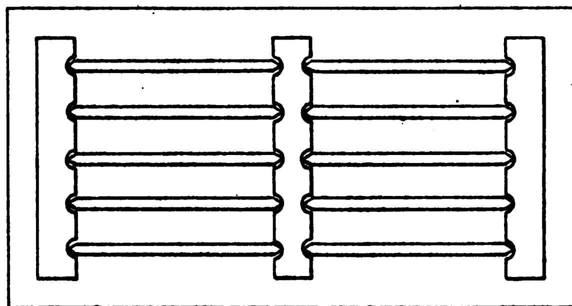


Fig. 36 – Microphone Ader.

lui-même modifié par Sellon et Wolkmar, les plaques fûrent formées d'un grillage en plomb, entre les interstices duquel l'on fixait la pâte d'oxyde, ce qui permet d'éviter que ce dernier ne se détache. et ne vienne tomber au fond du vase, en mettant par suite, des plaques en court circuit. La dernière modification des appareils Faure, Sellon Wolkmar, a été adoptée par l'Electrical Power Storage Company, qui livre ces appareils sous le nom d'accumulateurs E P S, nom qui leur a été conservé et est maintenant le plus souvent employé.

Les appareils Gadot, ne diffèrent des précédents que par une modification apportée à la confection des plaques, qui sont en deux parties, soudées au plomb, et de forme telle, que les parties les plus larges sont au milieu de l'épaisseur de la plaque, afin d'éviter que les garnitures intérieures en pâte oxydante ne viennent à tomber dans le liquide, au cas où elles se fendilleraient dans leur milieu. D'un autre côté, l'on a appliqué à ces appareils, une modification prise sur les accumulateurs Julien, les quadrillages sont formés d'une composition métallique inoxydable composé de plomb, d'antimoine et de mercure.

Actuellement, les derniers éléments secondaires dont je viens de parler, c'est-à-dire, ceux Faure, Sellon, Wolkmar, Gadot, ou d'un système identique, sont à peu près les seuls employés dans l'industrie ; ce sont d'ailleurs ceux qui, jusqu'à ce jour, ont donné les meilleurs résultats, et leur capacité est aussi supérieure à celle des autres types.

L'entretien des accumulateurs est assez minutieux, et mérite que l'on y apporte toute son attention, puisque leur durée dépend en grande partie des soins avec lesquels il sont traités.

L'expérience a démontré, que pour se trouver dans les meilleures conditions à ce sujet, il fallait opérer la charge et la décharge avec prudence, en ayant soin de ne pas pousser trop loin la charge, ni de ne pas les épuiser complètement à la décharge.

La charge peut être faite, soit au moyen de piles primaires soit au moyen de dynamos, ce qui est le cas le plus fréquent, et le type préférable est alors celui à enroulement en dérivation. Il convient, pendant la charge, d'accoupler les éléments de façon que leur résistance soit environ le triple de celle de la machine. Il faut environ 2 volts 5 par élément et 1/2 à 1 ampère par kilogramme de plaque. Dans les conditions normales, la charge d'un accumulateur bien formé, demande de 8 à 10 heures minimum. En pratique, l'on considère l'opération comme terminée quand, il se produit un dégagement de gaz sur les électrodes, et que la force électro-motrice monte jusqu'à 2 volts 5. A ce moment, la densité de l'eau acidulée qui était au début de 1,16, est devenue 1,22, et ceci peut servir de moyen de contrôle.

Quant à la décharge, elle ne doit pas être trop rapide, car le travail électrique total disponible, décroît à mesure que l'on demande un travail plus considérable par unité de temps, et comme je viens de le dire, il ne faut jamais la pousser jusqu'à sa limite extrême. La force électro-motrice sur laquelle on peut compter pendant la décharge, est de 1v 8 ; certains expérimentateurs prétendent que ce serait sur 2 volts, mais en réalité ce chiffre est trop élevé, et pour se placer dans les meilleures conditions possibles, les accumulateurs doivent être chargés à 2v 5 et déchargés seulement à 1v 8.

Il est assez difficile d'indiquer assez exactement, le rendement des accumulateurs, mais on compte généralement qu'ils donnent de 60 à 65 % de l'énergie qu'on leur a fournie.

Pour leur installation, il faut disposer ces appareils bien isolés, dans un local spécial, muni d'une bonne ventilation, et éviter de se servir dans cet appartement d'une lumière nue, car, nous avons vu que pendant la charge, les éléments dégagent de l'hydrogène, qui se mêlant à l'air ambiant, peut donner naissance à des mélanges détonnants, et l'on a eu malheureusement des exemples d'accidents arrivés dans des conditions semblables.

Examinons maintenant, si dans leur état actuel, les accumulateurs peuvent être employés économiquement par l'industrie. Pour pouvoir répondre affirmativement, recherchons si ces appareils réunissent bien toutes les conditions que l'on est en droit de demander à un accumulateur, c'est-à-dire, s'ils ont à la fois :

1° Une grande capacité électrique ;

2° Un bon rendement ;

3° Si leur charge peut se conserver longtemps sans perte, tout en fournissant à l'utilisation, un courant constant et facilement réglable.

En disant que les éléments secondaires doivent avoir une grande capacité électrique, j'entends qu'il leur faudrait emmagasiner la plus grande quantité d'électricité, sous le moindre poids possible, mais précisément, nous allons voir que pour satisfaire à la première condition, l'on se trouve amené à augmenter le poids des appareils, et l'on est ainsi en présence de deux conditions, dont l'une doit être forcément sacrifiée à l'autre.

Ainsi, de même qu'une pile primaire, les piles secondaires donnent un débit maximum. quand la résistance du circuit externe est égale à celle de la pile, mais on sait que dans ces conditions, le rendement n'est que $^1/_2$ et pour augmenter ce chiffre, il faut diminuer le débit, ou ce qui revient au même, augmenter la résistance du circuit extérieur, l'on se trouve ainsi amené à travailler sur un circuit résistant, et par suite, augmenter le nombre et le poids des appareils.

Quant à la question d'utilisation dans les conditions actuelles, je n'en dirai qu'un mot. L'on démontre que théoriquement, l'emmagasinement dans un kilogramme de plomb devrait être de 60 à 65 ampères-heure, elle n'est en réalité, que de 10 à 20 ampères, il y a donc encore du progrès à réaliser de ce côté.

Un autre désavantage de ces appareils, est leur faible durée, car tandis qu'une bonne dynamo dure des années, les accumulateurs doivent être remplacés tous les deux ou trois ans, ce qui grève d'autant le prix de revient de l'énergie électrique.

En résumé, l'on peut dire qu'au point de vue industriel, et pour ce qui regarde les installations d'éclairage électrique, les accumulateurs ne sauraient être employés que comme des appareils auxiliaires, utiles dans des cas tout-à-fait spéciaux, et dont on se trouve toujours bien quand on peut s'en passer.

Les partisans des accumulateurs, ont donné à leur existence une foule de raisons utilitaires, dont bien peu peuvent, en réalité, résister à un examen sérieux.

Ainsi, l'on a surtout fait remarquer qu'ils étaient éminemment aptes à la régularisation du courant électrique, mais alors, ils n'ont donc leur emploi que dans le cas où la vitesse des moteurs est irrégulière, et nous avons vu qu'il était beaucoup plus simple et surtout moins dispendieux, de se servir d'un bon régulateur automatique, qui présente en outre, un grand avantage, celui de ne pas compliquer l'installation. Enfin, dans toute application bien comprise, l'on peut éviter d'avoir recours à ce moyen coûteux, pour obtenir de la régularité. Les bonnes machines à vapeur et même les moteurs à gaz à deux cylindres, dont les progrès récents ont bien modifié l'allure, permettent d'obtenir une vitesse très uniforme et une lumière suffisamment fixe, sans avoir besoin de recourir aux piles secondaires.

L'on a prétendu également, qu'en cas d'accident au moteur ou à la dynamo, les accumulateurs permettaient de prolonger l'éclairage et ceci est vrai ; mais avec le perfectionnement du matériel auquel l'on est arrivé, il est certain que les services rendus de ce fait par les piles secondaires, tendent à devenir de plus en plus rares, et d'un autre côté, lorsqu'une installation est un peu importante, l'on a toujours plus d'avantage à avoir un moteur séparé, pour commander la dynamo, ce qui

évite précisément de rester sans lumière s'il arrive un accident à la machine motrice de l'usine.

Enfin. l'on a prétendu que le mode le plus rationnel pour se servir de piles secondaires était de les charger pendant le jour pour les utiliser le soir, conjointement avec la dynamo. A ceci je répondrai, qu'il est plus simple d'avoir, soit une seconde machine électrique, ou une machine plus forte qui sera toujours d'un entretien moins coûteux et d'un service plus sûr qu'un accumulateur. Ces derniers n'auraient leur raison d'être dans ce dernier cas, que, si l'on était pris par la force motrice, et même dans ce cas, je crois que l'on pourrait encore trouver une solution plus avantageuse.

En résumé, et dans l'état actuel de la question, les accumulateurs sont certainement appelés à rendre des services dans beaucoup d'applications de l'électricité, mais quand à ce qui concerne l'éclairage industriel, sans les bannir d'une façon systématique et absolue, il faut bien se persuader que le mieux est de faire tout son possible pour s'en passer, et de bien se persuader que l'on retrouve dans les accumulateurs la plupart des défauts que l'on reproche aux piles. Ils sont encombrants, d'une manutention longue et ennuyeuse, et par dessus tout, ils ne sont pas économiques.

LES TÉLÉPHONES

Les appareils destinés à transmettre le son par l'électricité, bien que d'invention ancienne, sont cependant restés pendant longtemps, plutôt des curiosités scientifiques, que des téléphônes susceptibles d'une application industrielle.

Leur nom leur a été donné par Ph. Reis de Friedrichsdorf qui avait inventé en 1861, un appareil composé d'un transmetteur et d'un récepteur, tout à fait distincts, pouvant reproduire des sons musicaux avec leur rapport, mais incapable de rendre les modulations de la voix, en ce sens qu'il ne transmettait ni l'intensité du son, ni son timbre. C'était peut-être déjà un commencement, mais il y avait loin de l'appareil de Reis pour arriver au téléphone que nous connaissons aujourd'hui, c'était à Graham Bell, qu'était réservé l'honneur de faire parler le premier le téléphone, en lui appliquant des courants continus et ondulatoires, et c'est lui qui a le premier résolu ce problème, soit avec des courants induits, résultants des vibrations même de l'appareil transmetteur, soit par des variations de résistance d'un conducteur imparfait, mis en rapport avec un circuit voltaïque, et résultant elles-mêmes des effets vibratoires.

Actuellement que nous avons tous l'habitude de nous servir journellement du téléphone, et depuis qu'il est entré, je dirai presque dans nos habitudes, nous semblons croire que cet appareil si simple et si commode, a toujours existé, et cependant, il n'a été arrêté d'une façon bien définitive dans sa forme et sa composition, qu'au mois d'août 1878, bien que le premier

appareil de ce genre, ait été construit en mars 1876, sous les données de Bell. C'est à cette époque et au sujet de ce téléphone que Sir W.Thomson, disait, dans un rapport à l'Association Britannique pour l'avancement des sciences «— Au département du Canada, j'ai entendu *To be or not to be* articulés à « travers un fil télégraphique, et la prononciation électrique « ne faisait qu'accentuer encore l'expression railleuse des mo- « nosyllabes ; le fil m'a récité aussi des extraits au hasard « des journaux de New-York. Tout cela, mes oreilles l'ont en- « tendu très distinctement, par le mince disque circulaire « formé par l'armature d'un électro-aimant. C'était mon collè- « gue du jury, le professeur Watson, qui, à l'autre extrémité « de la ligne, proférait ces paroles à haute et intelligible voix, « en appliquant sa bouche contre une membrane tendue, mu- « nie d'une petite pièce de fer doux, laquelle exécutait près « d'un électro-aimant, introduit dans le circuit de la ligne, des « mouvements proportionnels aux vibrations sonores de l'air. « Cette découverte, la merveille des merveilles du télégraphe « électrique, est due à un de nos jeunes compatriotes. M. Gra- « ham Bell originaire d'Edimbourg, et aujourd'hui naturalisé « citoyen des Etats-Unis. »

Le professeur Thomson avait bien raison d'appeler cette découverte une merveille. car elle était destinée à un avenir immense, et elle devait se développer avec la plus grande rapidité. Prenant place à côté du télégraphe, le téléphone allait devenir peu à peu le complément, et même quelquefois aussi, le suppléant du premier.

L'action du téléphone est basée sur les propriétés des courants d'inductions. J'ai dit en parlant des machines électrique ce qu'on entendait par courant d'induction, je vais donc rappeler aussi brièvement que possible, les quelques points dont il faut se souvenir pour bien suivre la théorie du téléphone.

Si l'on éloigne ou que l'on approche d'un fil métallique, formant un circuit fermé, le pôle d'un aimant, on détermine dans le conducteur un courant, dont le sens est variable sui-

vant qu'on approche ou qu'on éloigne l'aimant, et l'explication complète de ces phénomènes a été donné au chapitre III. D'un autre côté, il est évident que l'action précédente est beaucoup amplifiée, si au lieu de faire agir l'aimant sur un seul fil, on fait exercer son action sur une bobine, enroulée d'un grand nombre de tours, et possédant à son intérieur un noyau de fer doux, et, d'autre part, ce phénomène étant reversible, il est évident que :

1° Si l'on éloigne ou que l'on approche d'un fil métallique formant un circuit fermé, le pôle d'un aimant ou détermine dans ce conducteur un courant de sens variable suivant que l'on approche ou que l'on éloigne l'aimant.

2° L'action précédente peut être facilement augmentée en faisant agir l'aimant, non pas sur un fil unique mais sur une bobine, enroulée d'un grand nombre de tours de fil et possédant à son intérieur un noyau de fer doux.

3° Si l'on place l'aimant dans l'intérieur de la bobine et que l'on fasse osciller devant ses pôles une armature, l'on modifie l'intensité du champ magnétique produit par l'aimant et il en résulte pour la bobine des courants induits variables de sens, suivant que l'armature s'approche ou s'éloigne, et d'intensité suivant la grandeur et la rapidité du mouvement.

Téléphone Bell. — Ceci étant posé, je dirai de suite que le Téléphone Bell se compose d'un barreau cylindrique *m* en acier aimanté portant à l'une de ses extrémités une bobine de fil très fin bien isolé. Une plaque mince de tôle fixée par sa circonférence devant l'embouchure de l'appareil, est placée devant l'extrémité polaire du barreau aimanté à une distance convenable du pôle pour que les vibrations de la voix ne puissent déterminer le contact entre ces deux pièces. Les deux extrémités des fils sortant de la bobine sont soudés au deux tiges de cuivre S et S' qui les mettent en contact avec les bornes C et C' servant à relier l'appareil avec les conducteurs du circuit.

Dans ces conditions, si l'une des bornes c ou c', (fig. 33) est reliée par un fil à la borne correspondante d'un second téléphone semblable, et que l'autre borne, de chacun des deux appareils soit reliée à la terre, il est évident que si l'on parle devant l'embouchure du premier téléphone, les vibrations résultant de l'émission de la voix, se transmettront à la membrane *v*, et la feront ainsi s'éloigner ou s'approcher du barreau aimanté, dont la puissance magnétique subira de la sorte une série de variations correspondantes, et ces dernières détermineront dans la bobine, des courants induits, qui se transmettront par la ligne jusqu'au second téléphone. Au téléphone d'arrivée, les courants commencent par traverser la bobine *bb*, et produisent dans le barreau *m*, une série de variations, qui font vibrer la plaque *v*, or, ces vibrations correspondant exactement à celles transmises par la voix de la personne qui parle, elles reproduisent dans le second appareil, les paroles prononcées, et il est évident que ce qui s'est passé au téléphone d'arrivée, n'a été que la contrepartie inverse de ce qui avait été produit dans l'appareil envoyeur; tout ce qui était cause devient effet, tout ce qui était effet devient cause. Le premier appareil est le transmetteur, et le second est le récepteur. Dans le téléphone Bell que je viens de décrire, tous deux sont identiques, et par conséquent réciproques, c'est-à-dire, qu'ils peuvent être remplacés l'un par l'autre.

Le téléphone Bell est un excellent instrument, qui parle et entend bien, mais il ne peut servir seul, car il faut un avertisseur, et c'est généralement au moyen d'une sonnerie électrique, que le poste de départ avertit celui d'arrivée, que l'appareil va être mis en jeu.

Le téléphone Bell, tel que je viens de le décrire, a de grandes qualités ; il est simple, peu encombrant et fonctionne bien, mais aussi il présente un défaut, car il ne parle que très bas, et il faut une certaine habitude pour arriver à en tirer tout le parti qu'il peut donner, et dès son apparition, les recherches se sont portées sur le moyen de le rendre plus sonore.

Téléphone Gower. — Gower a d'abord renforcé l'action de l'aimant sur le diaphragme, en le courbant et rapprochant ses pôles, qui furent entourés chacun d'une bobine. L'appareil était enfermé dans une boîte cylindrique, percée d'un orifice, auquel l'on avait adapté un tube acoustique, qui servait à parler ou à écouter. Une petite anche fixée à la membrane vibrait quand on insufflait de l'air dans l'appareil, et ses vibrations communiquées directement au diaphragme, lui faisaient produire des courants d'induction assez forts, pour déterminer dans le récepteur un son intense qui servait d'appel.

Téléphone Siemens. — Dans le téléphone Siemens, l'aimant agissait également par ses deux pôles sur la plaque vibrante, mais il était en forme de fer à cheval, et les bobines étaient disposées parallèlement à ses branches. L'avertisseur était constitué par un petit sifflet, que l'on enlevait pour écouter ou parler. Par sa forme extérieure, ce téléphone se rapprochait beaucoup du téléphone Bell à poignées.

Téléphone Perrodon. — Perrodon, plus tard, avait repris l'idée de Bell, et s'était imaginé de compléter l'appareil de ce dernier, en le disposant de telle sorte que l'appareil pouvait servir d'avertisseur par l'adjonction d'une pile, et et d'un petit mécanisme, produisant automatiquement des ruptures et des fermetures du courant; ces alternatives, changeant la position d'équilibre de la plaque, y déterminent une série de vibrations, donnant naissance à un son aigu qui forme appel. Le passage du courant à travers la bobine, avait pour effet de diminuer l'aimantation du barreau, et de faire prendre à la plaque, une position initiale différente de celle qu'elle a, quand le téléphone est au repos, mais l'existence de ce courant, ne gênait en rien la production des courants induits, dus aux vibrations de la plaque, et la transmission de la parole se faisait comme dans les téléphones ordinaires. L'inconvénient du téléphone Perrodon résidait dans l'extrême

délicatesse de son mécanisme, et la difficulté d'installation des postes, qui ne permettait pas à cet appareil d'être employé par tout le monde.

Téléphone Ader. — Le principe des pôles concentrés a été mis en contribution par Ader, afin de chercher à surexciter les effets magnétiques qui déterminent les vibrations des téléphones. Pour celà, il a disposé son aimant en forme de tore ouvert, à section elliptique (fig. 34) et présentant en B B', ses pôles recouverts d'hélices, Un anneau de fer dont on voit une coupe en *A* est placé entre l'embouchure *E* et le diaphragme *L*, et sert de surexcitateur. Ce téléphone est connu de tout le monde, et actuellement, il est surtout employé comme récepteur lorsque l'on fait usage comme transmetteur, des appareils microphoniques, que nous allons étudier dans la suite.

Dans tous les systèmes que nous venons d'examiner, les deux appareils transmetteur et récepteur,étant identiques, ils peuvent être remplacés facilement l'un par l'autre, et cette réciprocité qui constitue un de leurs avantages,présente cependant des inconvénients,car lorsque la distance devenait trop grande, et que la ligne n'était pas parfaitement isolée, les sons produits devenaient très faibles, résultat facile à prévoir, si l'on considère que les courants induits développés dans ces appareils, étaient très faibles, et qu'il suffisait de la moindre perte dans la canalisation pour les diminuer encore

L'on a donc pensé qu'il fallait augmenter l'intensité de l'induction, et l'on a fait les téléphones à pile, dont le premier de tous est le téléphone à charbon d'Edison. Une fois que l'on a eu le téléphone à pile, l'idée est venue de ne pas employer directement le courant, mais de le faire uniquement réagir sur un appareil capable de fournir des courants d'induction, de façon à rendre sensible au téléphone, des courants incapables d'agir sur lui directement, en raison de leur faiblesse de tension.

Dès l'année 1878, MM. Pollard et Garnier avaient tenté des expériences à ce sujet. Ils avaient interposé dans le circuit du téléphone, et près du récepteur, le fil inducteur d'une petite bobine de Ruhmkorff, dont le fil induit était relié à la bobine du récepteur lui-même, et ils avaient obtenu ainsi, des résultats tout à fait satisfaisants. Cette modification constituait donc déjà un progrès, et il ne restait plus qu'à simplifier la construction de l'appareil interrupteur, l'on y est parvenu par l'emploi des microphones comme appareils transmetteurs.

Microphone Hughes. — Le premier microphone dont on a fait usage est celui de Hughes. Le principe de ces appareils, est basé sur cette observation que, lorsque le courant électrique du téléphone traverse une matière hétérogène ou pulvérulente, présentant des contacts multiples, mais variables, la moindre altération ou vibration de cette matière hétérogène, modifie la résistance qu'elle oppose au passage du courant, et à chaque modification correspond une vibration spéciale dans la membrane du téléphone récepteur. Dans ce cas, les vibrations de la plaque téléphonique, ne sont plus une cause, mais un effet. Ce ne sont plus les vibrations de son générateur, qui engendrent le courant producteur du son reçu. Il y a en jeu, une force étrangère, qui est celle de la pile génératrice du courant, chargé de faire vibrer l'appareil récepteur.

Le microphone Hughes, servant de transmetteur, est composé d'une planchette unie, dressée verticalement sur une autre. On fixe sur la planchette verticale, deux cubes en charbon, creusés d'une petite cavité sur chacun de leurs côtés se faisant face (fig. 35) et l'on place verticalement entre ces deux cubes, un crayon de charbon, taillé en pointe à chacune de ses deux extrémités, et disposé de sorte qu'il entre dans la cavité inférieure, mais qu'il ne soit qu'appuyé contre le rebord du trou supérieur. Ce crayon est donc pour ainsi dire, en équilibre instable, et il est susceptible de vibrations, et de mouvements des plus variés, sous l'impulsion la plus légère.

L'appareil étant ainsi disposé, on établit les contacts comme dans les téléphones Bell, en reliant le poste avec 4 piles Leclanché, et l'on peut constater qu'à l'inverse du téléphone qui traduit les sons en les diminuant, le microphone, au contraire, les augmente d'un façon notable, et la sensibilité de cet appareil est telle, que beaucoup de sons imperceptibles sans son intermédiaire, sont au contraire, saisis très facilement grâce à lui.

Microphones divers. — Edison, puis Blake, ont successivement étudié et modifié l'appareil de Hughes, et de tous ces perfectionnements successifs, est résulté le microphone Ader, qui avec le téléphone de même nom, constitue aujourd'hui le poste téléphonique complet le plus fréquemment employé par la Société Générale des Téléphones.

Le microphone Ader, apparaît à première vue sous la forme d'un petit pupitre fermé. Le couvercle incliné de ce pupitre est une planchette mince en bois de sapin, appelé membrane, parce qu'elle vibre au moindre son qu'elle reçoit, si on pouvait la soulever, on verrait qu'on y a fixé par dessous, trois charbons prismatiques équidistants (fig. 36) qui vont du haut en bas de la membrane, et qui sont réunis de droite à gauche par dix petits charbons cylindriques, dont les extrémités pointues reposent librement dans des trous percés dans les premiers. C'est là toute la composition du microphone Ader. Il y a ainsi vingt contacts, qui se modifient légèrement, quand les vibrations de la membrane se transmettent aux charbons mobiles, il est donc formé tout simplement par la réunion de dix microphones simples Hughes. Le courant d'une pile de trois éléments Leclanché, entre dans l'appareil par le premier des charbons fixes, traverse tous les charbons mobiles, et sort par le troisième charbon fixe, pour se rendre ensuite dans une bobine à gros fil, placée dans le fond du pupitre et revenir à la pile. C'est là le circuit primaire parcouru par le courant inducteur. Quand on parle devant la membrane en

bois, on la fait vibrer ainsi que le microphone placé par dessous, sa résistance et par suite, l'intensité du courant, varient ensemble, et ces variations produisent des courants induits dans un circuit voisin. Pour obtenir ce résultat, l'on a en effet disposé autour de la bobine en gros fil, une seconde bobine en fil fin, reliée par des fils conducteurs au téléphone récepteur situé à l'extrêmité de la ligne. La seconde bobine, le conducteur et le récepteur ne communiquent plus avec la pile, ils sont traversés par des courants induits proportionnels aux variations d'intensité des courants inducteurs, et ils constituent ce que l'on appelle le circuit secondaire. Le courant induit agit sur la membrane en fer du récepteur et cette dernière reproduira bien les vibrations de la membrane du transmetteur, puisque toutes deux ont des mouvements correspondants, à des variations semblables du courant inducteur, et du courant induit. Pour que l'effet soit maximum, il faudrait que la résistance du récepteur soit égale à celle de la bobine induite, c'est-à-dire, que si la résistance du premier est, par exemple, de 75 ohms, comme l'on emploie deux récepteurs, il faut donner à la bobine induite, une résistance de 150 ohms.

Téléphone de Locht-Labye. — Tous les appareils que nous avons étudiés jusqu'ici dérivent tous du principe de Bell, d'après lequel les ondes sonores produites par la parole, déterminent les vibrations d'une plaque flexible, qui se reproduisent sur le diaphragme semblable du récepteur, grâce aux ondulations qu'elles occasionnent sur un courant continu, qui traverse le fil de la ligne.

Dans le téléphone de Locht Labye, il n'y a plus d'organe flexible, vibrant sous l'action de la parole. Les sons articulés sont reproduits par une série de coups intermittents, frappés sur une surface rigide, dont l'amplitude et la rapidité, dépend de l'impulsion transmise à travers le fil la ligne, et qui deviennent perceptibles par une exacte reproduction des sons dont l'oreille ne distingue pas même les interruptions. C'est

à l'Exposition d'électricité en 1881, que M. de Locht-Labye, ingénieur des mines à Liége, avait présenté pour la première fois son nouveau transmetteur téléphonique, auquel il avait donné le nom de Pantéléphone. Il se composait d'une simple plaque rectangulaire en liége, suspendue librement à deux bandes minces de cuivre jaune ou d'acier, et sur laquelle était fixée une pastille de charbon, mise en contact, grâce à une légère inclinaison de la plaque, avec un morceau de platine. La sensibilité de cet appareil était excessive, car il transmettait nettement les vibrations sous l'influence de la parole, même à une distance de plus de vingt mètres. Ce n'est que deux ans plus tard, que cette invention a été complétée par celle du récepteur spécial, auquel l'on a donné le nom de téléphone à marteau, dont l'idée ingénieuse et nouvelle mérite une mention spéciale.

Comme le montre la (fig. 37) cet appareil se compose d'un puissant aimant en fer à cheval *NCS*, solidement fixé par deux traverses en cuivre *BB*, sur un tableau en bois. Aux pôles de cet aimant sont disposés deux noyaux en fer doux *d*, entourés chacun d'une bobine *D*, dont le fil de cuivre, recouvert de soie, fait partie du circuit téléphonique, arrivant aux bornes *TL*, placées à la partie supérieure du tableau, En face de cet électro, se trouve une armature *N S*, reliée à une barre rigide ou levier en cuivre *f g*, susceptible d'osciller autour de son centre *p*, fixé sur la traverse *BB*, avec laquelle il fait corps. A l'extrêmité de ce levier, une vis *v*, porte un petit marteau, qui dans sa position normale, repose sur une plaque rigide *MM*, en ébonite sur laquelle est monté le pavillon *P*. Le tout est maintenu par les supports *RRR*, vissés sur le tableau.

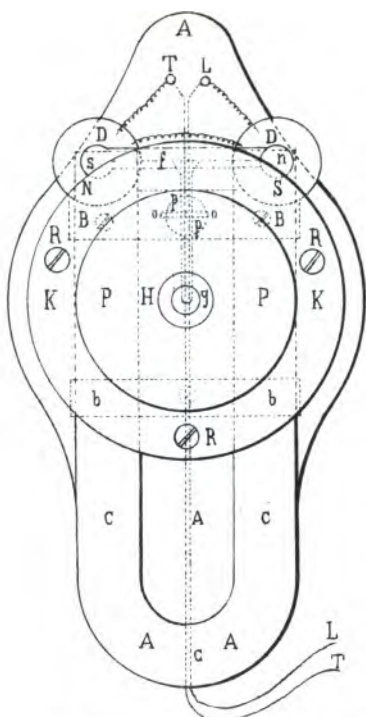
Le levier fonctionne absolument comme une anche libre, il rappelle l'armature Morse ou Hughes, et transmet avec netteté les sons de toute espèce. L'on peut interposer des feuilles de papier entre le marteau et la plaque, sans nuire à la netteté des sons, mais si l'on remplace la plaque par un diaphragme ordinaire de téléphone, l'intensité se trouve considérablement

diminuée, pour devenir nulle, quand le levier de l'armature est relié à la plaque.

La transmission téléphonique de la parole, résulte donc ici d'une série de chocs, produits par des courants instantanés, intermittents, de magnétisation et démagmétisation, produisant autant de mouvements rapides de l'armature dans le récepteur, et par suite, autant de coups de marteau sur la plaque.

Installations téléphoniques. — En général, pour constituer un poste téléphonique, l'on accouple donc un microphone servant d'appareil transmetteur, et un téléphone servant d'appareil récepteur, et tous deux sont généralement disposés de façon, que l'on puisse conserver à l'oreille. les récepteurs tout en causant près du microphone, l'on peut ainsi suivre une conversation, et entendre les objections que fait la personne avec laquelle l'on correspond. En outre de ces deux appareils essentiels, les postes téléphoniques comprennent encore la batterie de piles nécessaire à leur fonctionnement, ainsi qu'à celui du signal avertisseur. qui est le plus généralement une sonnerie électrique. Les piles les plus employées à cet usage sont des éléments Leclanché, ou les piles Lalande et Chaperon, c'est-à-dire que l'on emploie surtout les types ne consommant pas en circuit ouvert. Lorsque l'on ne se sert pas du téléphone, la sonnerie de chaque poste communique avec la ligne, de façon à toujours être prête à recevoir l'appel du poste correspondant ; et pendant la conversation, on la met hors circuit au moyen d'un commutateur attenant à l'appareil Comme on le voit, les installations téléphoniques sont aussi simples que possible, et elles sont faciles à comprendre par tout le monde.

Lorsque l'on a voulu établir des communications téléphoniques entre deux points très éloignés, l'on s'est heurté à des difficultés très grandes, qui n'avaient pas été prévues, car une



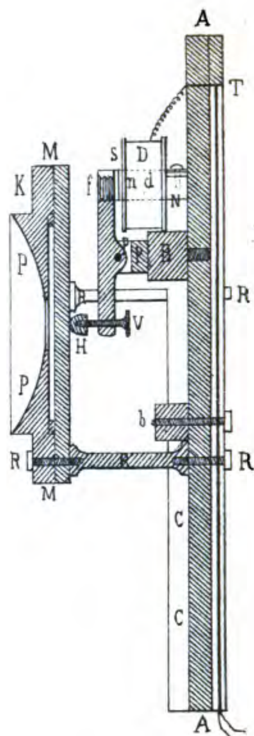


Fig. 37. — Téléphone **Locht-Labye**

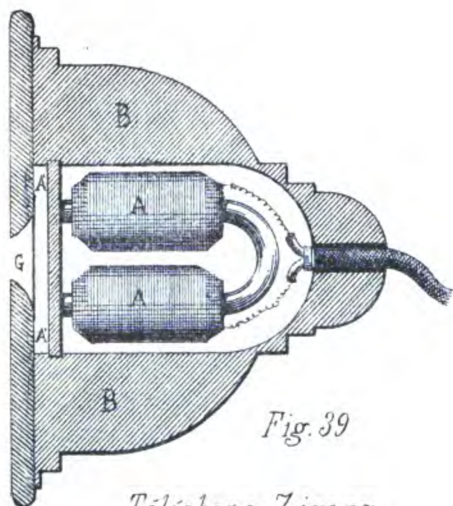


Fig. 39

Téléphone Zigang

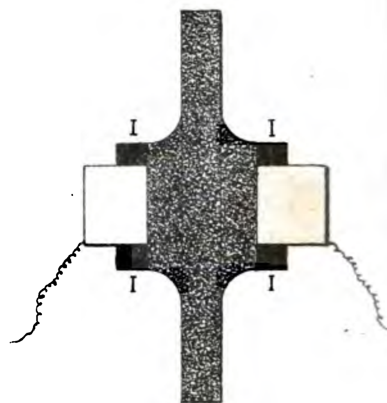


Fig. 40

Microphone d'Argy

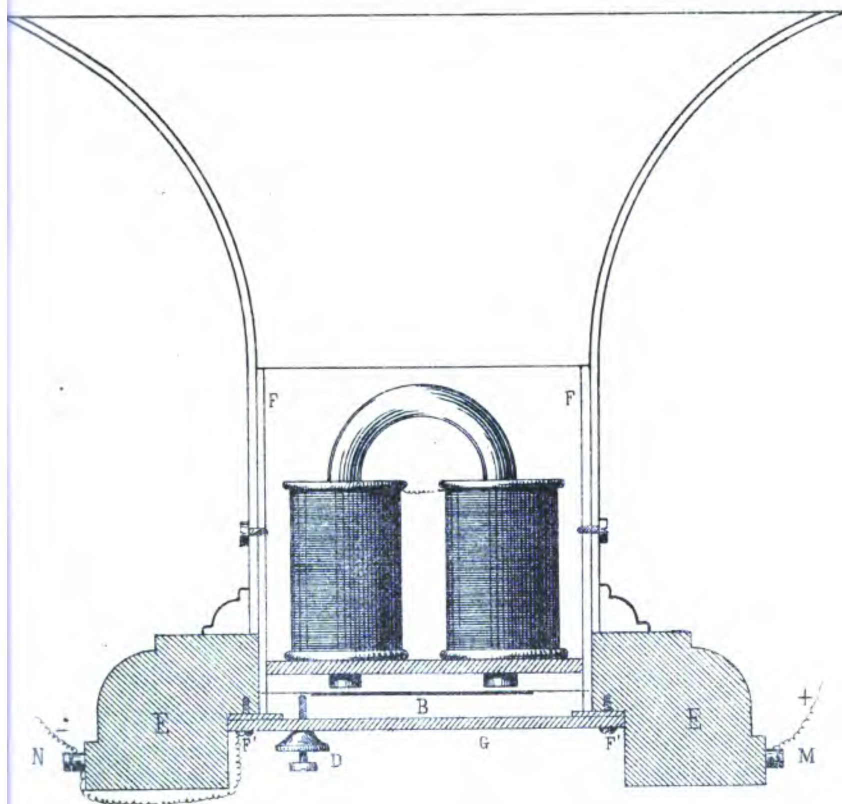


Fig. 41 – Trompette Zigang

fois les postes et la canalisation établis, l'on s'aperçut qu'il était impossible de communiquer et voici pourquoi.

Pour réduire les frais de canalisation, l'on avait réuni les deux postes par un seul fil, et l'on avait complété le circuit, en reliant les deux autres bornes de l'appareil à la terre. D'un autre côté, le seul fil de la canalisation avait été placé sur les mêmes poteaux et dans les environs des fils télégraphiques ; les variations d'intensité des courants traversant ces derniers, développaient dans la canalisation téléphonique des courants induits, qui en s'ajoutant à ceux produits normalement sur cette ligne, enlevaient toute clarté aux communications, et il est facile de se rendre compte que dans les fils télégraphiques, les interruptions, et par suite, les changements d'intensité étant continuelles, il devenait impossible d'entendre d'un poste ce qui se disait à l'autre, et tous ceux qui se sont servis de téléphones savent combien en cette circonstance, sont désagréables les bruits dits de friture, qui ne sont dûs qu'à l'induction.

Le moyen le plus simple qui se présente à l'esprit pour remédier à cet inconvénient, est de ne pas se servir de la terre comme fil de retour, mais d'employer deux fils pour la ligne. Dans ces conditions, les courants induits, développés dans chacun des conducteurs, étant égaux et de sens contraire, se détruisent réciproquement ; mais alors l'on voit que les frais de premier établissement seraient doublés, il a donc fallu rechercher une autre solution.

Le but proposé a été atteint par MM. Van Rysselberghe et Maiche, dont je vais exposer sommairement le principe de chacun de leurs systèmes.

Dès maintenant, je dois dire que dans le système Van Rysselberghe, le but que l'on s'est surtout proposé, est d'empêcher les courants d'induction de se produire, tandis que dans celui Maiche, l'on a cherché à les annuler.

Dans une ligne télégraphique, le jeu de l'appareil consiste à utiliser pour la reproduction des signaux, les ouvertures et

les fermetures du circuit, et c'est précisément ces changements brusques et rapides dans l'intensité qui développent sur les lignes voisines des courants d'induction. Pour empêcher ces derniers Van Rysselberghe a enlevé aux courants télégraphiques, la brusquerie avec laquelle ils commencent et finissent, et il a remplacé par des courants gradués dont les variations d'intensité en se faisant progressivement, sont sans action sur le téléphone. Il est arrivé à ce résultat, en intercalant dans le circuit télégraphique de petits électro-aimants et des condensateurs, qui agissent comme réservoir d'énergie en ce sens qu'ils absorbent à la fermeture du circuit une certaine quantité d'électricité qu'ils restituent au moment de la rupture.

Théoriquement, ce système est assez simple, et il a l'avantage de permettre la transmission simultanée et sur un même fil des dépêches et des communications téléphoniques ; pratiquement, il nécessite des modifications assez importantes, dans le matériel télégraphique existant, et c'est précisément ce qui a retardé son adoption sur les réseaux existants.

Le système Maiche présente sur le précédent l'avantage de ne nécessiter aucune transformation dans le matériel télégraphique existant; il consiste dans la substitution à la bobine d'induction ordinaire, des appareils téléphoniques d'une bobine spéciale à triple enroulement. Le premier des fils, se trouve sur un circuit comprenant le microphone, le téléphone et la pile, et les deux autres fils communiquent avec les lignes télégraphiques et sont enroulés en sens contraire. Ils sont reliés à leur extrémité, et du point de jonction part un conducteur qui se rend au poste télégraphique. Dans ces conditions, l'action du courant télégraphique est nulle, puisque les fils secondaires de la bobine sont enroulés en sens contraire, et donnent lieu, sur le fil téléphonique à des effets égaux et opposés qui se détruisent.

Quoiqu'il en soit, et quelque soit le système de téléphone que l'on emploie, l'un des points les plus intéressants à con-

naître, est de savoir à quelle distance maximum une conversation est possible par le téléphone. Je dois dire qu'à ce sujet il faut plus compter sur la pratique que sur la théorie, car cette dernière, qui est loin d'êre complète, ne permet pas de donner une réponse bien certaine, D'après les résultats pratiques obtenus jusqu'ici, l'on admet qu'une conversation téléphonique est possible dans les limites extrêmes suivantes.

La voix devient imperceptible à 100 milles de cable transatlantique, à 400 km , avec un fil de fer de 5 m/m de diamètre, à 180 km., en canalisation souterraine, mais on peut téléphoner à plus de mille km., de distance en canalisation aérienne et avec du fil de bronze de 4 m/m 5 de diamètre, présentant une résistance électrique de 1 ohm 8 par kilomètre.

Téléphone Zigang. — Les Téléphones que nous venons d'étudier, sont surtout destinés à la correspondance entre deux points très éloignés, tels que d'une ville à l'autre, ou entre les abonnés d'une même ville, qui sont reliés alors entre eux, au moyen d'un poste central, mais il existe des appareils, moins puissants, et aussi moins coûteux, qui peuvent rendre des services dans l'industrie, en permettant de communiquer, entre les différents points d'une usine, sans avoir à se déplacer.

Le nombre des appareils de ce genre est considérable, mon intention n'est pas de les passer en revue, et je dois me contenter d'en examiner un seul, qui donne d'excellents résultats, et qui malheureusement jusqu'ici est demeuré trop peu connu, c'est le Téléphone Zigang, (fig. 38). Cet appareil appartient à la classe des téléphones dits électro-magnétiques, il présente sur beaucoup d'autres du même genre l'avantage d'être excessivement simple, d'un volume aussi réduit que possible, et de ne pas nécessiter un emplacement spécial pour son installation, il peut, en effet, être placé par tout, il suffit d'un simple gond pour pouvoir l'accrocher. Depuis l'invention du microphone, un assez grand nombre d'électriciens, ont essayé d'employer le courant voltaïque pour

réagir sur des diaphragmes, par l'intermédiaire de simples électro-aimants, mais jusqu'ici la plupart des appareils de ce genre sont restés plutôt des curiosités scientifiques, que des appareils susceptibles d'un emploi industriel.

Les nombreuses expériences répétées par l'inventeur, ont mis en relief le principe suivant. — « Lorsqu'un courant vol-

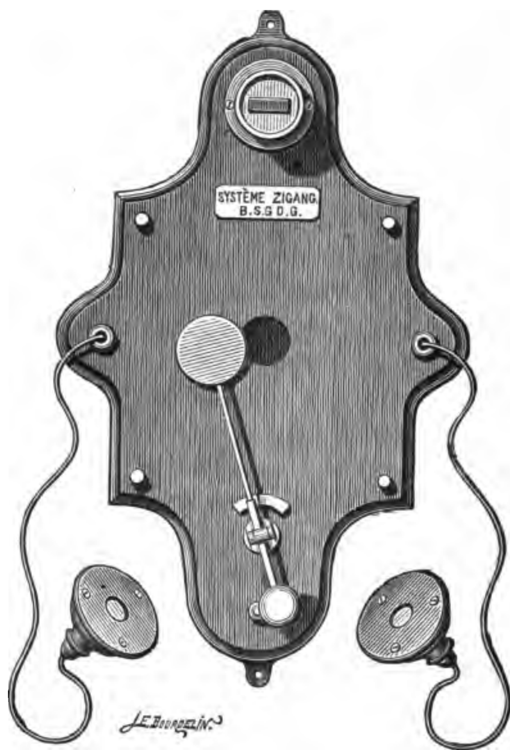


Fig. 38. — Téléphone Zigang.

« taïque ondulatoire agit sur un diaphragme téléphonique par « l'intermédiaire d'un électro-aimant à noyau de fer doux, les « sons obtenus sont jusqu'à une certaine limite, d'autant plus « intenses, et plus nets, que le diaphragme est plus élastique « et d'un diamètre plus réduit. »

Ces résultats sont attribuables à la présence d'un résonnateur de petite capacité, donnant une grande hauteur au son fondamental propre de l'instrument, ce qui est un élément très favorable à la propagation des sons qui s'y manifestent.

C'est sur ces principes qu'est établi le téléphone Zigang.

Il se compose d'un petit électro-aimant A de 1 m/m 1/2 de diamètre de noyau de fer doux, recouvert de quelques spires de fil de 1 à 2 dixièmes de millimètre de section (fig 39)

Les deux extrémités des noyaux sont rivées dans une pièce de cuivre A qui permet de fixer cet organe dans l'intérieur de la monture. Cette pièce de cuivre est assez massive, pour éviter que les vibrations moléculaires, déterminées dans le sein du noyau, par suite des aimantations et des désaimantations partielles, ne se propagent pas dans la monture en bois, en outre les spires de l'hélice magnétisante sont enduites d'un épais vernis à la gomme laque, qui leur donne une rigidité telle que par l'effet de leur inertie, elles s'opposent concurremment avec la pièce qui relie les noyaux, à la production des vibrations longitudinales, qui empêcheraient les pôles d'agir efficacement sur l'armature. Devant les pôles de l'électro se trouve le diaphragme G, qui joue le rôle d'armature. Il est formé d'une petite plaque en paillon de cuivre de 3/100 de millimètre d'épaisseur, et de 18 m/m de diamètre. Il porte en son milieu un petit rectangle de tôle douce de 15/100 de millimètre d'épaisseur, et dont la largeur correspond à l'écartement, plus le diamètre des pôles. — Le diamètre de la partie vibrante est ici de 15 m/m, mais elle peut être portée jusqu'à 22 m/m, dans les appareils nécessitant des bobines plus résistantes, par suite de la longueur du circuit.

Le tout est enfermé dans une monture creuse, en bois dur B, présentant d'un côté une ouverture circulaire, et de l'autre un petit trou pour le passage du fil conducteur, dont les extrémités sont reliées au fil de l'électro-aimant. Une rondelle B', fixée au moyen de trois vis, sert à maintenir le diaphragme en face des pôles de l'électro, dans une position

telle que lorsque le courant passe dans les spires des bobines, l'écartement entre l'armature et les pôles de cet électro, soit aussi petit que possible, sans cependant aller jusqu'au contact.

Les pièces électro-magnétique de ce nouveau téléphone, en raison de leurs petites dimensions, sont très favorables aux aimantations et aux désaimantations successives, provoquées par les variations de résistance du transmetteur, aussi la parole est-elle reproduite avec une pureté et une intensité remarquable. Ce téléphone fonctionne en circuit primaire, avec des courants voltaïques, dont les variations de résistance sont provoquées par un microphone à charbon. Monté métalliquement, l'appareil donne des résultats encore plus satisfaisants, les mouvements vibratoires du diaphragme, peuvent prendre tout leur développement, la monture restant inerte en raison de sa masse.

Ce récepteur, qui est d'une légèreté excessive, puisqu'il ne pèse qu'une quinzaine de grammes, est susceptible de remplacer les téléphones magnétiques, partout où ceux-ci sont employés en circuit primaire, avec des courants voltaïques.

Le second point essentiel à considérer dans un système quelconque de téléphone, est le transmetteur microphonique. Dans le téléphone que nous étudions, l'appareil de ce genre dont on fait usage est du système d'Argy. — Le microphone d'Argy, était primitivement formé de deux pastilles de charbon, entre lesquelles était placé du coke pulvérisé, en grains de 2 à 3 m/m, le tout maintenu par un tube en caoutchouc, L'une des pastilles de charbon était collée sur la planchette microphonique, et voici comment les choses se passaient.

Sous l'influence de la porole, la planchette en sapin se met en vibration, entraînant dans ses mouvements la pastille qui fait corps avec elle, tandis que l'autre pastille, en vertu de son inertie, ne participe pas aux mêmes mouvements, et il en résulte, que les granules de coke, qui sont interposées entre les deux, prennent partiellement part aux vibrations, et donnent ainsi naissance à des variations dans la résistance,

qui sont fonction dé l'amplitude des vibrations de la pièce de bois.

Dans le nouveau microphone métallique (fig. 40) le principe est le même, les deux cylindres de charbon sont séparés par deux plaques de cuivre mince, qui contiennent dans leur cavité intérieure, le coke granuleux, ces plaques circulaires sont isolés par des feuilles de papier I, et leurs faces sont cannelées pour donner à l'ensemble, l'élasticité nécessaire pour maintenir le coke comprimé, l'on voit donc que cet appareil est aussi simple que possible, et par suite peu sujet aux détériorations.

Le signal d'appel du téléphone Zigang, est différent de ceux employés ordinairement. C'est une sorte de trompette électrique, qui présente sur les sonneries trembleuses, ou les timbres habituellement employés, l'avantage de supprimer les ressorts, si facilement cassables des sonneries ordinaires.

Elle produit un son caractéristique continu, par les mouvements isochrones rapides d'une plaque vibrante, sur un résonnateur. Elle se compose d'un tube cylindrique en laiton de 40 m/m de diamètre intérieur, et 1 m/m 1/2 d'épaisseur, dans l'intérieur duquel est fixé un électro-aimant, dont la culasse a pour longueur, le diamètre intérieur du cylindre.

Devant les pôles de l'électro, est placée une plaque armature B, en tôle de fer de 14/100 de millimètre d'épaisseur, au centre de laquelle est soudé un petit rectangle ayant 2 m/m d'épaisseur, et ayant pour largeur et longueur, l'écartement et le diamètre des pôles. Cette plaque est maintenue par ses bords au moyen d'un anneau F, qui la fixe dans un petit évidement pratiqué dans l'épaisseur du métal du tube cylindrique. Le tout est monté sur un socle en acajou, dont la face arrière sert de support à une pièce en cuivre G, traversée à l'une de ses extrémités par une vis à contre écrou D, qui, comme nous le verrons, sert précisément à règler la hauteur du son.

Le fonctionnement se comprend à simple inspection. Le pôle positif de la pile est relié à la borne M, par laquelle ar-

rive le courant qui traverse ensuite l'électro-aimant, se rend dans la plaque par le massif métallique, dans la vis D, et retourne à la pile par la borne N. Par le passage du courant, l'armature B est attirée par l'électro, et dans son mouvement, elle entraîne la plaque qui fait corps avec elle ; celle-ci se sépare de la vis D, en provoquant ainsi la rupture du circuit, l'électro-aimant redevient inerte, et la plaque vibrante, en vertu de son élasticité, revient buter contre l'extrémité de la vis, pour rétablir immédiatement la fermeture du courant. Les mêmes phénomènes se reproduisent alors avec une rapidité qui dépend : 1° de l'élasticité de la plaque, 2° de son serrage, 3° de son diamètre, 4° du poids de l'armature, 5° de

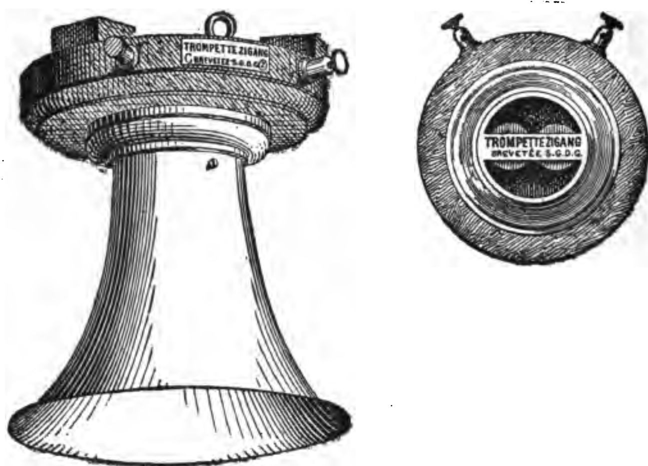


Fig. 41. — Trompette Zigang.

la tension du courant électrique, 6° de la capacité du tube formant résonnateur. Ces mêmes éléments font donc varier la hauteur du son. La trompette établie dans la proportion indiquée ci-dessus, donne comme note fondamentale, un son qui se rapproche sensiblement du *la* du diapason normal, c'est-à-dire que le courant est interrompu environ 450 fois dans une

seconde. Les noyaux de fer de l'électro, doivent être de petit diamètre, et le fil qui recouvre les bobines doit être beaucoup moins résistant, que le restant du circuit, précisément à cause de la rapidité des interruptions, qui empêchent cet organe de se saturer, et de se désaimanter à chaque fermeture, et à chaque rupture du circuit. Les proportions qui donnent les meilleurs résultats, dans les conditions ordinaires, sont celles qui consistent à donner, comme résistance à l'électro-aimant, la moitié de la résistance totale de la pile et de la ligne.

Cette trompette peut parfaitement être séparée du téléphone, employée seule, ses dimensions sont très variables, et elle peut devenir alors l'un des signaux d'appel les plus puissants, et les moins susceptibles de se dérégler ou de se briser.

L'intensité du son obtenu, est sensiblement proportionnel à la tension du courant, il est donc préférable pour obtenir des effets maxima, d'employer des courants à grande tension, qui ont en outre l'avantage de réduire l'étincelle d'extra courant, qui se produit entre les contacts platinés de la vis, et de la plaque. *Le timbre du son* est donné par la vis D, contre laquelle la vis vient buter, après chaque attraction. Ce timbre varie suivant les milieux dans lesquels les sons se produisent, ainsi lorsque la monture est en bois, ou que le socle est placé sur une caisse sonore, la note est plus douce, les résonnateurs de grande capacité, donnent un son sourd, et la réduction du diamètre de la plaque, correspond à des notes très claires.

Lorsqu'on a voulu se servir de cette trompette seule, l'on a cherché à renforcer le son produit, en augmentant le diamètre du tube, ce qui permettait d'employer des électros plus puissants, mais l'on s'est vite aperçu qu'il y avait une limite que l'on ne saurait dépasser, en ce sens que les plaques de grandes dimensions, émettent des sons graves, et que ces derniers ne se transmettent pas aussi facilement que les sons aigus. Il a donc fallu rechercher un autre moyen d'atteindre le but proposé, et l'on y est arrivé par l'adjonction à l'appa-

reil, à l'ouverture opposée de la plaque, d'un pavillon en cuivre, ce qui permet alors d'obtenir des résultats beaucoup supérieurs à ceux que donnaient les trompettes ordinaires. Quoiqu'il en soit, la trompette Zigang offre l'avantage d'être à la fois peu encombrante, de fonctionner dans toutes les positions possibles, et quelque soit l'état plus ou moins stable des corps sur lesquels elle peut être attachée, et ces avantages joints à ses faibles proportions, en font un signal d'appel éminemment approprié au service des postes téléphoniques, en ce sens qu'il peut être placé directement sur la planchette microphonique.

Examinons maintenant quelles sont les différentes combinaisons qui ont permis à l'inventeur de réunir les différents appareils que nous venons d'étudier, et de les grouper de façon à permettre d'obtenir un poste téléphonique complet.

Je dirai, qu'étant donné les parties constitutives, l'on peut donner à l'appareil un assez grand nombre de formes, aussi pour bien fixer les idées, je prendrai comme type le poste qui est actuellement construit par la maison Tshieret, Ch. Fuschs et C[ie] de Puteaux.

Une planchette en acajou, porte à sa partie supérieure, une petite trompe électrique, comme signal d'appel (fig. 38) à sa partie supérieure est un manipulateur Morse, mobile autour de son support central. Ce manipulateur porte en outre, un petit disque métallique, qui obture l'ouverture du microphone, lorsque l'appareil est au repos. Le microphone est dissimulé derrière la planchette dans un évidement circulaire, à qui cette dernière sert de fond. Les deux récepteurs pendent sur les côtés. Les deux bornes supérieures sont reliées à la ligne, et les deux bornes inférieures à la pile. (3 éléments Leclanché.)

Lorsqu'une personne du poste d'attaque veut appeler son correspondant, elle presse le bouton du manipulateur, et fait ainsi fonctionner la trompette du poste opposé. La réponse

se fait de même, et les deux correspondants ainsi prévenus, tournent respectivement leur manipulateur de gauche à droite de façon à l'amener dans la position de la figure.

Ce dernier remplit aussi le rôle d'un commutateur ordinaire, ayant pour effet de placer sur un même circuit, les récepteurs, le microphone et la pile des deux postes. On parle alors à environ 30 à 40 centimètres de l'ouverture circulaire du microphone, et l'on conserve les deux récepteurs à l'oreille. Lorsque la conversation est finie, celui qui a entamé la correspondance, abandonne les récepteurs et replace le commutateur verticalement, en donnant quelques coups de bouton qui indiquent que l'entretien est terminé ; à l'autre poste, même jeu, et les deux appareils reviennent de nouveau à l'attente.

On serait tenté, de prime abord, d'objecter qu'il est possible d'oublier de manœuvrer le manipulateur. La position dissymétrique des organes, et l'ouverture de l'emhouchure du microphone, seraient une première remarque, qui sauterait assez facilement aux yeux. En outre, en pressant le bouton pour la finale, on s'apercevrait bien vite, que celui-ci s'abaisse dans le vide, alors que normalement, sa course très petite, est limitée par le bouton de contact.

Les avantages de cet appareil sont donc multiples, et le rendent éminemment apte aux communications intérieures d'une usine. Composé tel que je viens de l'indiquer, le téléphone Zigang installé avec des conducteurs de 1 m/m de diamètre fonctionne d'une façon très satisfaisante, à une distance de 2000 mètres. Lorsque la longueur augmente, il faut augmenter le diamètre du fil de façon à ne jamais dépasser 40 ohms de résistance dans le circuit.

La sensibilité de ce téléphone, lorsqu'il est convenablement installé est telle, que pour avoir une conversation bien nette, il est préférable de parler à 30 ou 40 centimètres de la plaque, plutôt que plus près.

Enfin, dans le cas où ce téléphone est employé entre abonnés d'une même ville, il présente un avantage immense en ce sens, qu'il n'est pas susceptible d'être influencé par les courants d'induction, provenant du voisinage des réseaux télégraphiques.

Polyphone Zigang. — Avant de quitter la question du téléphone, je vais dire quelques mots sur un appareil qui se rattache au téléphone Zigang, et qui, bien que n'étant pas susceptible d'un emploi industriel, n'en constitue pas moins une curiosité qu'il est bon de ne pas ignorer, puisqu'elle n'est en réalité, qu'une application nouvelle des trompettes Zigang, sur laquelle j'appelle l'attention de mes lecteurs, en leur faisant remarquer qu'il y a là un intérêt scientifique bien caractérisé, et ouvrant aux applications de l'électricité une voie nouvelle.

Il a été dit à propos de la hauteur des sons, que l'augmentation ou la diminution du diamètre de la plaque vibrante d'une trompette électrique, rendait la note plus grave ou plus aigüe. Or, l'on peut mécaniquement diminuer la surface vibrante, en la réduisant par l'interposition d'un corps quelconque.

Si l'on dispose une trompette, de façon que la plaque se trouve extérieurement, et si, lorsqu'elle fonctionne, l'on applique un crayon métallique en un point quelconque de la surface, on immobilise ainsi une certaine partie de cette dernière, et le son devient plus aigü. Si l'on rapproche le stylet du centre, la note continue à monter, et le même phénomène se reproduit à chaque déplacement du crayon, et au fur et à mesure que ce dernier se rapproche de l'armature.

En graduant convenablement et par comparaison le rayon par des divisions correspondant à la gamme chromatique, on peut ainsi produire un peu plus d'un octave de notes suivant les conditions d'homogénéité et d'élasticité de la plaque. On a ainsi un polyphone, instrument très original. permettant de jouer de la musique par le seul effet d'un courant électrique.

Le capitaine Zigang dispose les organes d'une trompette de telle façon que la plaque vibrante soit placée extérieurement, et bien à portée de la main. Une planchette d'acajou réunit les éléments de l'appareil, qui, repose d'une part, sur l'un des côtés du socle, de l'autre, sur l'extrémité du résonnateur dans une position inclinée à 45°. Pour jouer de l'instrument, préalablement relié à une pile de 4 ou 5 éléments, on le laisse reposer naturellement sur une table, on saisit la planchette de la main gauche, le pouce de cette main en face du petit interrupteur. La main droite tient le crayon métallique, qui vient s'appuyer normalement sur le rayon de la plaque donnant les réductions de la surface vibrante.

On conçoit aisément, à la simple inspection de l'appareil, qu'il n'est, en réalité, pas plus facile d'en jouer pour le premier venu, qu'il n'est facile de jouer du violon pour une première fois. Le principe du fonctionnement, est d'ailleurs identique à celui qui consiste à raccourcir la longueur d'une corde, pour obtenir des sons de plus en plus aigus. Néanmoins, on arrive encore assez vite à saisir l'idée et le fonctionnement de l'appareil.

Les notes piquées se font avec l'intermédiaire de l'interrupteur, et les notes coulées par le déplacement aussi rapide que possible du crayon sur la plaque, sans toutefois ne jamais abandonner cette dernière. On donne de l'expression à la note musicale soutenue, en communiquant par des mouvements de main un petit tremblement à l'extrémité du stylet métallique.

En résumé, le polyphone est un petit appareil très ingénieux dans sa conception, mais qui actuellement est plutôt une curiosité scientifique qu'un véritable instrument de musique.

APPLICATIONS DIVERSES



TRANSPORT DE LA FORCE

Transport de la force. — En outre des deux grandes applications industrielles que nous venons d'étudier, l'électricité peut encore être utilisée dans un assez grand nombre de cas, et l'un des plus curieux et celui qui présente actuellement le plus d'intérêt est certainement le transport de la force au moyen de l'électricité.

A l'Exposition de Vienne en 1873, M. Fontaine avait démontré, par une expérience malheureusement mal appréciée à cette époque, que l'on pouvait au moyen d'un courant électrique produit par une machine Gramme, faire mouvoir une machine semblable placée à distance et au moyen de cette seconde machine, actionner un appareil quelconque. Plus tard en 1879, MM. Félix et Chrétien entreprirent à Sermaize une opération de labourage au moyen d'une charrue mue par une machine Gramme actionnée par une dynamo semblable placée à plus d'un kilomètre de distance, et en 1881, M. Marcel Despretz avait actionné une pompe placée dans le local de l'exposition de Munich, au moyen d'une machine à vapeur qui était à 60 kilomètres de distance, en se servant comme conducteur de l'électricité d'un fil télégraphique ordinaire. Les expériences de ce dernier se sont continuées jusqu'à nos jours, suivies pas à pas par celles de M. Hippolyte Fontaine, et il faut convenir que les deux expérimentateurs n'ont pas toujours été d'accord

dans leurs déductions. Nous allons d'abord exposer la théorie des transmissions à distance et nous verrons par la suite à quels résultats ont conduit les expériences.

Si nous plaçons deux machines électriques semblables sur un même circuit composé de deux fils conducteurs, l'un d'aller et l'autre de retour, et si nous faisons tourner l'une des machines que nous appellerons la génératrice à une certaine vitesse V, en même temps que nous appliquerons un frein sur l'arbre de la seconde, qui sera la réceptrice, nous verrons cette dernière se mettre à tourner en sens inverse de l'autre machine et celà avec une certaine vitesse, qui dépendra de l'effort tangentiel exercé sur la poulie de la machine réceptrice.

Pour connaître les rapports existants entre la vitesse, le travail des deux machines, l'intensité du courant, etc., nous nous baserons sur ce fait que dans l'expérience précédente, les choses se passent exactement comme si la réceptrice produisait un contre courant dont le sens et l'intensité seraient déterminés par son sens de rotation, sa vitesse et les résistances réelles du circuit.

Nous désignerons donc par T_m l'expression du travail moteur et T_u, celle du travail utilisé.

D'après la loi de Joule si :
E est la force électro-motrice de la génératrice.
I son intensité.
Le travail développé sera donc.

$$T_m = E I \qquad (1)$$

Or comme je le disais plus haut, par le seul fait qu'elle produit un travail extérieur, la réceptrice devient le siége d'une force électro-motrice E' dirigée de façon à diminuer l'énergie du circuit, de tout le travail produit au dehors. La quantite d'énergie ainsi enlevée aura pour expression :

$$T_u = E' I \qquad (2)$$

D'ailleurs le régime permanent étant supposé établi, le théorême des forces vives nous apprend que le travail moteur

se compose du travail utilisé, plus le travail dépensé pour vaincre la résistance du circuit.

Si nous représentons par S, la résistance totale du circuit, se composant de la somme des résistances des appareils générateur et récepteur et de celles du circuit extérieur, nous voyons que le travail perdu dans le circuit est, d'après la loi de Joule, SI^2. Donc

$$SI^2 = T_m - T_u \qquad (3)$$

A l'aide des équations précédentes, nous pouvons étudier toutes les circonstances importantes du problème du transport de l'énergie. Elles ne contiennent en effet que six quantités sur lesquelles il suffit d'en avoir trois pour obtenir les trois autres.

Si l'on donne par exemple :

S la résistance du circuit.

T_u le travail que l'on désire avoir disponible

E la force électro-motrice de la machine employée.

Les trois inconnues sont alors :

I l'intensité du courant.

E' la force électro-motrice de la réceptrice.

T_m le travail à dépenser, ou si l'on veut le rendement

$$\frac{T_u}{T_m}.$$

La résolution des équations donne :

$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{E \mp \sqrt{E^2 - 4ST_u}}{2S} \\ E' &= \frac{E \pm \sqrt{E - 4ST_u}}{2} \\ \frac{T_u}{T_m} &= \frac{E'}{E} = \frac{1}{2} \mp \frac{1}{2}\sqrt{1 - \frac{4ST_u}{E^2}} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

Sans vouloir discuter ici complètement cette équation, je dois faire remarquer que, pour que l'opération soit possible, il faut que I soit réel, ce qui exige :

$$S < \frac{E^2}{4\,T_u}$$

La plus grande résistance à travers laquelle il est possible de transmettre une quantité donnée d'énergie, avec une machine de force électro-motrice E est donc :

$$S = \frac{E^2}{4\,T_u}$$

L'on voit qu'il y a une limite que l'on ne saurait franchir, et au-delà de laquelle l'on obtiendrait que des étincelles tout le long du circuit, mais non pas le fonctionnement de la réceptrice.

Si l'on prend :

$$S < \frac{E^2}{4\,T_u}$$

l'on a deux solutions réalisables l'une par l'autre. Si l'on réalise celle qui répond au signe supérieur, l'on verra que l'on aura un fort courant avec un faible rendement ; si l'on prend le signe inférieur, ce sera le contraire qui se produira.

Donc, au point de vue du meilleur rendement, il faudra prendre la seconde solution, soit donc :

$$I = \frac{E - \sqrt{E^2 - 4ST_u}}{2S}$$

$$E' = \frac{E + \sqrt{E^2 - 4ST_u}}{2}$$

$$\frac{T_u}{T_m} = \frac{E'}{E} = \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{4ST_u}{E^2}}}{2}$$

A première vue, cette formule montre donc que le rendement est toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus faible que la quantité d'énergie à transmettre est plus grande.

D'autre part, cette formule montre encore que pour un travail et une résistance donnés, le rendement est d'autant plus grand que la force électro-motrice, est elle-même plus considérable. Il est donc plus avantageux dans un transport de force, d'utiliser la plus grande force électro-motrice que l'on puisse utiliser.

Si, reprenant les formules données plus haut, nous en faisions une discussion complète, nous serions ainsi amenés à toute une série de lois qui, scientifiquement sont très exactes, mais deviennent illusoires aussitôt que l'on veut les faire entrer dans la pratique, parce que leur application exigerait, ou un accroissement sans limites de la force électro-motrice, ce qui rendrait tout isolement impossible. ou le décroissement indéfini de l'énergie transportée, ce qui rendrait l'opération inutile.

En résumé, le problème de la transmission des forces par l'électricité peut être résolu par l'emploi de machines de dimensions très courantes, sans avoir aucunement besoin de recourir à des dynamos de dimensions colossales, car la pratique a démontré qu'il était plus avantageux d'employer plusieurs machines, de façon à ne pas dépasser une différence de potentiel de 1500 volts à leurs bornes.

Ces quelques données étant établies, nous allons maintenant voir qnels ont été les résultats obtenus dans les transports de force faits jusqu'alors.

Il existe dans l'industrie un grand nombre d'applications déjà faites de transports de force par l'électricité, et dans la plupart des cas, l'on a surtout recherché à suppléer au transmissions ordinaires en se servant d'un simple fil conducteur, destiné à amener le courant de la génératrice à la réceptrice située près de l'outil ou de la machine que l'on voulait commander. Ces applications sont journalières et destinées à se

répandre de plus en plus, en ce sens qu'elles permettent d'actionner mécaniquement, des outils qui pour la plupart demandaient auparavant un grand nombre de bras. Tels sont les grues et les ponts-roulants. Ainsi, à la fonderie de canons de Bourges, il y a deux grues commandées par l'électricité. L'une de 20 tonnes, l'autre de 40. A l'usine Farcot, une grue de 30 tonnes est actionnée par une dynamo qui permet d'assurer le service avec un seul homme, alors qu'il en fallait auparavant 10 pour la manœuvrer à bras,

D'un autre côté, cette application de l'électricité peut encore rendre de grands services dans tous les endroits où les dangers d'incendie, ne permettaient pas d'introduire des machines à vapeur, ainsi que dans les mines où la disposition de l'emplacement est encore un obstacle de plus à l'établissement d'une commande ordinaire. Aussi dans ce dernier cas, avons-nous vu l'électricité prendre un essor considérable, et être successivement appliquée à la ventilation des galeries, puis à l'élévation des bennes, puis au forage des trous de mine, etc., etc. Là encore, les applications sont donc nombreuses et pour permettre de se faire une idée de ce qu'elles sont, je vais décrire l'installation d'une transmission électrique établie par la Cie des mines de la Péronnière, pour actionner un treuil d'extraction dans l'intérieur de la mine.

Il s'agissait de produire un travail d'environ 8 chevaux à la tête d'une descenderie, et à une distance de 1200 mètres du jour, et la quantité de travail à fournir devait aller en augmentant au fur et à mesure de l'avancement de la descenderie.

Extérieurement l'on a disposé une machine à vapeur de 32 chevaux nominaux, qui commande deux machines Gramme coujugées de chacune 8 chevaux. Quatre conducteurs relient ces dernières à deux autres machines Gramme identiques aux premières, mais placées intérieurement pour commander le treuil. Ces machines sont placées symétriquement par rapport aux organes de la transmission, elles peuvent s'embrayer et se désembrayer très facilement, de sorte à obtenir une mise en

marche ou un arrêt très faciles. Dans ces conditions le travail utile des dynamos a permis d'élever 800 kilos en une minute et demi sur un plan de 110 mètres de longueur, ayant 0,40 de pente par mètre, ce qui équivaut donc à 5 ch^x 2, abstraction faite des résistances passives.

En outre de ces quelques applications de transports de force, il en est d'autres qui ont été faits sur une échelle plus vaste, et que je ne peux passer sous silence, car ils permettent de voir quel parti immense l'on peut tirer de ce moyen de transport de la force.

La ville de Bienne en Suisse, possède à ses portes une force hydraulique considérable, que l'on a eu l'idée d'utiliser au moyen d'un transport électrique, afin de permettre de commander par ce moyen les usines qui se trouvent dans l'intérieur même de la ville.

Sans entrer dans tous les détails de cette installation, je dirai cependent que la machine génératrice placée près du moteur, qui est ici une turbine Gérard à axe horizontal, se trouve à douze cents mètres de la réceptrice. La ligne qui joint les deux dynamos est aérienne et composée de deux fils de cuivre de 7 $^m/_m$ de diamètre, portés par des poteaux et des isolateurs semblables à ceux qui servent au service télégraphique. Les deux machines sont du système Thury, type H, la génératrice tourne à 500 tours et fonctionne à 350 volts, et la réceptrice tourne à 400 tours.

En Suisse, dans un grand nombre de petits chemins de fer d'intérêt local, la nature accidentée et la pente des terrains ne permettent pas à la simple adhérence de suffire pour la commande des trains, et l'on avait recours soit aux crémaillères, soit aux systèmes funiculaires. Près de Lucerne, le chemin de fer du Burgenstock, se trouvait dans ces conditions, l'on a donc établi un chemin de fer funiculaire ; mais comme l'on ne disposait pas de force motrice à la partie supérieure de la ligne, l'on a eu l'idée d'utiliser une force hydraulique qui

se trouvait à 4 kilomètres, en installant un transport de force et en faisant commander directement le tambour du câble moteur, par les machines réceptrices elles-mêmes

La longueur de la ligne en plan est de 827 mètres, sa longueur réelle de 936. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 440 mètres, soit une pente moyenne de 53 °/₀.

La génératrice est placée près d'une turbine Gérard, et la réceptrice se trouve à la station supérieure, d'où elle actionne le treuil de commande. La ligne de chemin de fer est double, c'est-à-dire qu'il y a deux wagons qui s'équilibrent et dont l'un monte quand l'autre descend. La force motrice sert donc à vaincre les frottements et à suppléer aux différences de poids, lorsque la charge montante est supérieure à la charge descendante, ce qui a toujours lieu pendant la première partie du trajet, car, à ce moment, la partie du câble qui monte est beaucoup plus longue que celle qui descend. La force à fournir est donc éminemment variable, aussi pour maintenir la vitesse constante, a-t-on dû avoir recours, non seulement aux freins qui se trouvent sur les wagons, mais encore à un frein fixe placé à côté du tambour sur lequel s'enroule le câble moteur. Un système de roues d'angles à débrayages, permet, sans changer le sens de rotation des dynamos, de faire tourner le tambour en avant ou en arrière. Enfin un autre débrayage permet d'utiliser le soir le transport de force pour actionner une dynamo qui fait le service d'éclairage de l'hôtel. Au point de vue électrique, l'installation se compose de 4 dynamos Thury du type de la (fig. 18) toutes les quatre sont semblables ; deux de ces machines servent de génératrices et les deux autres de réceptrices. La longueur de la ligne est de 4 kilomètres et l'installation est disposée de sorte que le service puisse se faire avec une seule génératrice. et une seule réceptrice. Les quatre machines sont du type G 7, elles sont excitées en série, et tournent à 800 tours, en fournissant un courant de 25 ampères à 800 volts de tension.

Pour permettre de bien juger de cette installation, je ne puis mieux faire que de citer les chiffres et les résultats des expériences qui ont été faites à ce sujet par M. Boucher.

MACHINES GÉNÉRATRICES

Résistance de l'inducteur	1,30 ohm
» de l'induit	0,60
Diamètre de l'induit	250 m/m
Longueur du fil utile par volt	185
Poids total	1200 kgs.

MACHINES RÉCEPTRICES.

Résistance de l'inducteur	1,30 ohm
» de l'induit	0,50
Diamètre de l'induit	230 m/m
Longueur de fil utile par volt	190 —
Poids total	1200 kgs.

Avec une force électro-motrice de 800 volts aux bornes de chaque génératrice, et un débit de 20 ampères, le travail développé est de

$$1,600 \times 20 = 32,000 \text{ w.}$$

La perte due à la résistance intérieure étant de 76 volts, cela donne pour 20 ampères	1520 w
Enfin l'expérience a montré que la perte due aux frottements et courants de Foucault est de	900 w
La puissance totale absorbée est donc de	34,420 w

Soit 46,8 chevaux.

De leur côté les machines réceptrices reçoivent 1425 volts avec 20 ampères, soit 28,500 w

La perte due à la résistance intérieure des réceptrices est de 72 volts pour 20 ampères, soit donc 1,440 w

Celle due aux frottements et aux courants de Foucault a été trouvée de 900 w

Soit donc une perte totale de 2,340 w

En déduisant ce chiffre du nombre de watts que les machines reçoivent, nous obtiendrons le travail disponible, soit donc 26,160 w ou 35,5 chx.

Le rendement industriel de ce transport de force est donc de

$$\frac{26,160}{34,420} = 76\ \%$$

Cette application est l'une des mieux combinées qui existent.

Ainsi avec deux génératrices placées à 4 kilomètres, l'on actionne deux dynamos chargées d'abord d'assurer le service des trains, puis le soir d'éclairer l'hôtel, et enfin dans la journée pendant les intervalles qui séparent les trains, le courant est envoyé à un autre moteur électrique, situé à 600 mètres au-delà des réceptrices, actionnant un service de pompes, qui prennent l'eau au pied de la montagne, et la refoulent à plus de 400 mètres pour le service de l'hôtel. Cet exemple vraiment curieux, montre quels services immenses peut rendre un transport de force bien compris, établi sur des bases sérieuses et avec des appareils offrant toute la sécurité désirable.

Enfin, pour terminer, je dois citer un transport de force, à la fois très original et parfaitement établi, qui a été fait par la maison Henrion de Nancy, pour le service spécial de l'éclairage électrique de l'une des usines des héritiers de Georges Perrin, à Cornimont ; voici dans quelles conditions :

Les héritiers de Georges Perrin, possèdent trois usines dont les deux extrêmes ont entre elles une distance de 735 mètres. L'une de ces dernières manquait de force motrice pour pouvoir assurer le service de son éclairage. tandis que l'autre disposait d'une force motrice hydraulique plus que suffisante,

pendant neuf mois de l'année.et pendant les trois autres mois, une machine de 350 chevaux, assure le fonctionnement de l'usine.

L'idée a donc été celle-ci, emprunter à cette dernière la force qui manquait pour la première installation ; c'était un simple transport qui offrait l'avantage de régler l'usine. en ce sens que la force transportée devient nulle quand la vitesse augmente de 10 %. D'un autre côté l'installation présente ceci de curieux, que la dynamo, le cable et le moteur, existant déjà auparavant; l'on n'a même pas voulu faire la dépense d'un cable spécial, et le cable à lumière a dû servir lui-même au transport de force. Malgré la perte considérable résultant de cette dernière combinaison, l'on a encore obtenu les résultats suivants :

Force initiale au départ, 14 à 16 chx.

Force à l'arrivée, 8 chx.

Dans des conditions aussi peu avantageuses, l'on ne saurait évidemment demander mieux.

En résumé, et pour ne pas se faire d'illusions sur cette question des transports de force, l'on peut voir que dans la généralité des cas, lorsque, comme dans les exemples précédents, il s'agit de répartir, ou de transporter une certaine force à des machines faisant partie d'un ensemble groupé, pour lesquelles, la disposition ou l'éloignement, ou même les conditions de sécurité ne permettent pas l'établissement de moteurs à vapeur, une transmission établie par voie électrique lorsqu'elle est bien entendue et faite par une maison sérieuse, est capable de donner d'excellents résultats. Mais d'un autre côté et dans l'état actuel de la science, les transmissions à grande distance, n'ont pas encore donné les résultats économiques qui permettent de faire entrer cette solution dans l'industrie. Les essais faits jusqu'alors, ont été très curieux au point de vue scientifique, mais ont donné des résultats assez ternes au point de vue industriel.

Enfin dans un autre ordre d'idées, l'on peut dire que cette façon de distribuer la force est certainement appelée à un certain

avenir, dans les villes possédant des stations centrales destinées à produire le soir, l'électricité pour l'éclairage, et qui pendant le jour, pourraient certainement fournir l'énergie électrique comme force motrice destinée à la petite industrie.

Soudure électrique. — En outre des applications que nous venons d'étudier, l'électricité est encore employée par l'industrie métallurgique dans deux cas particulièrement intéressants, que nous allons brièvement examiner. Ce sont :

1° La soudure des métaux.

2° La commande des machines-outils.

La soudure s'effectue directement à l'aide de l'arc électrique, produit entre un crayon de charbon à l'un des pôles, et le métal à souder à l'autre pôle.

Le charbon constitue le pôle positif, et le métal le pôle négatif; dans ces conditions l'on peut éviter la formation des quantités considérables d'oxyde, qui prennent naissance aussitôt que l'on intervertit les pôles. Ce procédé est dû à M. Nicolas de Bernardos et la fusion des métaux les plus réfractaires, se fait, dans ces conditions très facilement, sous l'influence de la chaleur considérable produite par l'arc voltaïque, mais l'action est locale, et les parties avoisinantes n'éprouvent que de légères modifications, en outre, le refroidissement, et la solidification se font très vite.

Le conducteur du pôle négatif est donc fixé directement à la pièce à souder, au moyen de pinces mobiles, et le pôle positif est relié à un tube en cuivre rouge, appelé porte-crayon, et dans lequel ce dernier est fixé au moyen d'un anneau glissant. Un cable flexible passe à travers le manche en bois, et pendant le travail, l'ouvrier promène ce crayon sur le métal à braser, tandis que de la main gauche, il protége sa figure de la réverbération éclatante de l'arc, à l'aide d'une glace noire à travers laquelle il regarde et surveille son travail. En outre la main droite est munie d'un fort gant en cuir, à l'abri d'une sorte d'écran métallique, et il doit pendant l'opération, refroi-

dir fréquemment le porte crayon, en le plongeant dans un baquet d'eau. La constitution du porte-crayon permet de remplacer rapidement les charbons au fur et à mesure de leur usure.

L'opérateur doit en outre se garder d'inhaler dans les poumons, les vapeurs métalliques qui se dégagent, et lorsque cela est possible, l'on doit chercher à les chasser au moyen d'un courant d'air ; enfin, pour garantir la figure, il est utile de se servir d'un masque en soie enduit de résine, et muni d'un cadre mobile, avec verres de couleurs ; des ouvertures sont ménagées dans la visière pour faciliter la respiration. Quoiqu'il en soit, il faut avant tout, éviter de s'exposer la figure au rayonnement de l'arc, sans quoi, les yeux, la peau du visage et les mains, éprouvent les mêmes accidents que ceux dûs à un coup de soleil.

Les charbons dont on fait usage, sont identiques à ceux employés pour l'éclairage, mais ils sont plus longs. Quand à leur diamètre, il varie suivant le genre de travail.

La manière d'opérer que je viens d'indiquer a été modifiée par le professeur Elihu Thompson, et tout le monde a pu voir fonctionner le procédé de ce dernier, dans la galerie des machines, à l'Exposition de 1889 à Paris.

La méthode est un peu différente de la précédente, elle consiste à maintenir l'une contre l'autre, par une forte pression, les pièces à souder, et à faire passer un courant électrique de grande intensité, en se servant comme conducteur d'une certaine longueur de barres à réunir. La résistance au point de jonction développe la chaleur soudante et la pression provoque une union intime, généralement accompagnée d'un peu d'expansion. Ce procédé est donc d'une évidente simplicité.

Quelle que soit la méthode que l'on emploie, il est évident qu'une installation de ce genre, doit pouvoir souder aussi bien les grosses pièces que les petites et d'un autre côté, il faut que l'ouvrier ait à sa portée toute la facilité possible, pour régler

à volonté, l'intensité du courant, dont il a besoin ; c'est pour cette raison que l'on dispose alors des batteries d'accumulateurs, de telle sorte que l'on puisse facilement réunir des groupes d'éléments, de façon à obtenir la tension et l'intensité voulue.

L'application la plus simple de la soudure électrique, est la réunion bout à bout des fils de fer ou des fils de cuivre, dans leurs différents emplois, et l'on supprime ainsi des assemblages grossiers et d'une résistance gênante ; mais le procédé s'applique aussi bien aux gros échantillons, il suffit de faire usage d'appareils suffisamment puissants. Autant que l'on peut en juger par une simple appréciation, on estime que les soudures des plus grosses pièces faites jusqu'ici, ont demandé un courant de 20.000 ampères.

Machines-Outils Électro-magnétiques. — Les machines outils électro-magnétiques, ont été imaginées par M. Rowan, pour résoudre les difficultés que présente le travail des tôles formant le bordage des navires, et la première machine qui fut inventée à ce sujet est la riveuse électrique.

L'on sait que théoriquement, dans une riveuse quelconque, l'outil percuteur et celui qui contre-tient le rivet, doivent former un ensemble rigide, et être invariablement reliés l'un à l'autre, et l'on peut dire que les conditions elles-mêmes, dans lesquelles s'effectuaient le travail, entraînaient nécessairement la séparation de ces deux éléments, aussi, jusque dans ces derniers temps, et malgré toutes les tentatives faites dans cet ordre d'idées, le succès n'avait pas toujours répondu à l'attente des inventeurs. Or, l'emploi d'électro-aimants pour appliquer les machines sur l'emplacement où elles doivent opérer, satisfait à toutes les conditions du problème et de la façon la plus complète. Il donne le moyen de fixer presque instantanément les outils, sur l'endroit même de leur travail, et ne laisse aucun rivet à placer ensuite à la main. L'outil contre-teneur est tout aussi rapidement attaché de l'autre côté de la plaque. Le

cadre de ce travail ne me permet pas d'entreprendre une description détaillée des machines outils électro-magnétiques, je dois donc me contenter d'en indiquer le principe pour pouvoir le passer rapidement en revue.

Dans la riveuse, il est évident qu'en partant de l'idée précédente, si les électro-aimants sont disposés de telle manière que leurs pôles de nom contraire soient en regard, ils seront attirés les uns vers les autres, alors ils compriment, et rapprochent les plaques sur lesquelles ils reposent, et par conséquent permettent d'exécuter le travail dans les conditions les plus avantageuses. On n'a plus ainsi de boulonnage à faire, et le travail manuel est réduit à son minimum.

Lorsqu'il eut réalisé l'idée de la riveuse électrique, l'application du même principe au perçage, taraudage, etc. s'est immédiatement présentée à l'inventeur; et les perceuses électro-magnétiques semblent appelées à encore plus d'avenir que les riveuses, car, si ces dernières ont eu à lutter avec les machines mues par l'eau, la vapeur ou toute autre force quelconque, il n'en est plus de même en ce qui regarde le perçage. Le manque d'outil perceur convenable dans les constructions navales, a entraîné la prolongation de la pratique défectueuse du poinçonnage. Or toutes les études, et les expériences faites depuis 1850, sont unanimes à reconnaître que si les tôles minces souffrent peu du poinçonnage, en revanche, celles dont l'épaisseur dépasse 12 $^{m}/_{m}$ perdent par ce fait de 10 à 23 $^{o}/_{o}$ de leur ténacité pour le fer, et de 11 à 33 $^{o}/_{o}$ pour l'acier. Donc, les perceuses électriques, en permettant de percer les trous des rivets après que les tôles ont été courbées, suivant les formes requises, offrent encore un avantage de plus sur les machines similaires, puisque pour ce genre de travail, il suffit de déplacer des petites dynamos d'un poids très faible, au lieu d'avoir à remuer des structures pesantes.

La machine à tarauder, est aussi basée sur le même principe, et en outre, l'emploi d'un électro-moteur pour actionner le taraud, présente l'avantage de pouvoir faire varier facilement le sens du mouvement.

Le matage et l'ébarbage, se font également au moyen de machines électro-magnétiques. Dans ce cas l'outil reçoit les coups réguliers et rapides d'un marteau actionné par un électro-moteur, un solénoïde ou tout autre système.

Voici maintenant quelques-uns des résultats qui ont été obtenus avec ces machines :

Après un court apprentissage, les ouvriers arrivaient à percer des trous de 22 m/m de diamètre en 69 secondes, en y comprenant le temps employé pour déplacer les machines, et l'expérience a démontré qu'avec une force de 3/4 de cheval, pour déterminer l'adhérence des électros, et actionner le moteur, les machines à percer pouvaient perforer des plaques de fer forgé, en une minute trois quarts, et y percer des trous de 25 m/m de diamètre, et 37 m/m de profondeur, ou dans le même temps, percer deux plaques d'acier doux de 40 m/m d'épaisseur.

En construisant les premières machines de son système, l'inventeur ne possédait aucune donnée, lui permettant de déterminer les dimensions des électros-aimants, et des électros-moteurs, en raison de la tâche de chaque machine. La plupart des recherches sur les électro-aimants ont été effectuées au point de vue spécial des dynamos, et les expressions de leur rendement qu'on trouve dans les traités spéciaux, sont données principalement en fonction de l'intensité du champ magnétique, il n'est nullement question de leur force adhérente ou levante, qui est justement celle dont on a dû faire usage dans les machines que je viens de décrire.

M. Rowan a entrepris à ce sujet, une série d'études qui paraissent devoir conduire à une loi générale. Il se réserve de publier les résultats de ses recherches, et l'on peut dire qu'il y aura là, matière à un sujet dont l'intérêt n'échappera à personne.

Il s'agit d'une branche nouvelle des applications de l'électricité, qui sera certainement appelée à un grand avenir, si les résultats obtenus confirment ceux que je viens de citer.

Galvanoplastie. — L'électro-chimie a donné naissance à deux industries qui se sont beaucoup développées en ces derniers temps, et qui tendent sans cesse à se modifier, et à prendre une extension de plus en plus considérable. Ce sont la galvanoplastie et l'électro-métallurgie.

La première de ces deux applications de l'électricité, a suivi les progrès de cette dernière et est devenue, maintenant, une véritable branche qui, à elle seule, constitue une industrie spéciale. La seconde, plus nouvelle, commence à prendre son essor, bien qu'elle ne soit pas encore sortie de la période de tâtonnements inévitables à toutes les industries qui se créent; de plus, les conditions d'emploi de l'électricité ont imposé dans ce dernier cas, des exigences beaucoup plus grandes que la galvanoplastie n'en avait jamais demandé. Enfin il y a là, tout un matériel, une manutention et une routine implantée depuis longtemps et sans lesquels l'on craint toujours de manquer le but que l'on se propose. Ayant jusqu'ici, toujours vu traiter les métaux par l'action directe de la chaleur, l'on s'explique mal que l'on puisse arriver à un aussi bon résultat, en faisant intervenir un autre agent.

C'est certainement dans ces dernières causes, plutôt que dans toutes autres, qu'il faut rechercher l'état peu avancé de l'électro-métallurgie.

Quoiqu'il en soit, je vais donner ici les principes sur lesquels reposent ces deux applications de l'électricité.

La galvanoplastie présente deux buts bien différents, applicables à des cas particuliers.

1° Elle est destinée à la reproduction de certains modèles, au moyen d'un moule dans lequel le métal est précipité par l'électrolyse.

2° Elle a également pour objet, de déposer à la surface d'un corps, une couche métallique, destinée à le protéger contre les influences atmosphériques, ou à lui donner un aspect plus décoratif; cette seconde application est certainement la plus importante, elle comprend la dorure, l'argenture, le cuivrage, le nikelage.

Lorsque l'on veut reproduire par voie électro-chimique, un objet quelconque, médaille ou statuette, la première opération qui s'impose, est de tirer un moule de cet objet. L'on peut se servir d'un grand nombre de substances pour modeler, mais en règle générale, il faut distinguer deux classes bien distinctes de ces dernières :

1° Les alliages métalliques ;

2° Les corps neutres.

Dans le premier cas, le moule est bon conducteur de l'électricité, par conséquent le dépôt métallique se formera facilement ; dans le second cas, au contraire, il est nécessaire de favoriser ce dépôt électrolytique, en rendant conductrice la surface intérieure du moule ; pour arriver à ce résultat, le moyen le plus simple et le plus couramment employé, consiste à enduire la face interne du moule de plombagine.

Lorsque l'objet à modeler présente une surface sans parties refouillées, l'opération est très simple et se réduit à la prise d'une empreinte pure et simple ; dans le cas contraire, c'est-à-dire, lorsque l'objet présente des parties rentrantes, le moule doit être composé de plusieurs portions que l'on réunit ensuite. absolument commme cela se passe pour les pièces de fonderie.

Quoiqu'il en soit, ce modelage, qui est l'une des parties les plus importantes de l'opération, présente de grandes difficultés et pour arriver à obtenir une reproduction très fine, il y a une très grande attention à y apporter, et des tours de main que l'expérience prolongée seule peut enseigner. Il y a certainement, dans cette partie, des ouvriers qui, par suite du goût qu'ils y apportent, des précautions qu'ils savent prendre, et surtout des remarques qu'ils ont tiré de leur expérience personnelle, sont certainement très habiles dans la confection de ces moules.

Sans entrer dans le détail des substances qui peuvent être employées pour les modelages dont nous nous occuperons, je dirai cependant quelques mots sur les plus connues.

Les moules métalliques sont des alliages fusibles à basse température (généralement au-dessous de 100°) dont on se sert en y appliquant au moyen d'un coup sec et frappé bien d'aplomb, l'objet que l'on veut reproduire, que l'on laisse tomber dans le mélange, au moment où, après avoir été fondu, il commence à prendre une consistance pâteuse. Ce genre de moules, une fois terminé, est verni sur le revers et les bords entourant l'empreinte de façon à éviter l'adhérence du dépôt sur ces parties, et pour cela, l'on se sert généralement de cire à cacheter dissoute dans l'alcool.

L'on se sert aussi quelquefois de moules en plâtres, et la simplicité de l'opération, me dispense de toute explication à son sujet. Il faut, toutefois, avoir soin de bien huiler également le modèle, afin de faciliter la séparation des deux parties après l'opération terminée.

L'une des substances qui ont été le plus employées dans ces derniers temps pour les moulages, est la gutta. La facilité avec laquelle elle se travaille, sa résistance à la température ordinaire et sa plasticité, lui permettent de prendre des empreintes très fines et très délicates. Toutefois, plus que pour n'importe quelle autre substance, il est difficile avec cette dernière, de bien réussir la reproduction ; aussi, beaucoup d'ouvriers lui préfèrent-ils la gélatine, qui ne lui cède en rien comme finesse d'empreinte, et demande moins de difficultés pour bien réussir. D'autres emploient des moules en cires, en stéarine, ou en blanc de baleine, etc, etc. Dans ces derniers cas, notons toutefois, que les meilleurs résultats sont obtenus, lorsqu'on remplace la plombagine employée pour la métallisation, par du blanc de céruse.

Une fois bien préparé, le moule est placé dans le bain métallique et il faut remarquer à ce sujet que la façon dont on entre ce moule n'est pas indifférente à la bonne réussite de l'opération, ainsi, ce point qui n'est pas tout-à-fait capital avec les matières neutres, devient au contraire de première importance avec les composés métalliques et ceci se comprend

facilement, en ce sens, que si l'on immerge le métal dans une solution cuivreuse, par exemple, une couche d'oxyde va immédiatement se précipiter sur sa surface, il faut donc pour éviter cet inconvénient ne placer le moule dans l'appareil que lorsque toutes les autres pièces y sont déjà.

Avec les moules métalliques l'opération va beaucoup plus vite qu'avec les matières neutres, et dans le premier cas le dépôt se fait plus rapidement près des points d'attache du conducteur, il ne se propage que peu à peu, et ceci peut devenir un inconvénient, lorsque le premier dépôt est accompagné d'un dégagement d'hydrogène, ce qui rend le métal cassant. Afin d'y remédier, il faut autant que possible, diminuer l'intensité du courant, au début de l'opération, et ne lui donner sa valeur normale que lorsque tout le moule a été d'abord bien également recouvert.

Lorsque l'on fait des reproductions d'objets présentants de fortes saillies, ou de statuettes, il faut avoir soin de placer dans l'intérieur du moule une carcasse de fils métalliques, que l'on relie au pôle positif, ce qui facilite beaucoup l'opération, en permettant une meilleur répartition du courant, qui, sans cette précaution, atteint quelquefois très difficilement les cavités. Il est bien entendu que ces fils doivent être convenablement choisis, suivant la nature des bains, ils sont tantôt en platine, tantôt en plomb ou en cuivre.

Lorsque le passage du courant à déposé dans l'intérieur d'un moule, une couche de cuivre assez épaise, 2 ou 3 $^m/^m$, on le complète en coulant dans son intérieur, du laiton ; pour cela, l'on remplit la partie libre de petits morceaux de laiton, mélangé avec du borax, et l'on soumet le tout à l'action du chalumeau. La masse fond, et le cuivre qui résiste très bien à la température développée se trouve ainsi renforcé par une forte couche métallique.

Lorsque l'on veut déposer par l'électrolyse une couche métallique mince, adhérente à la surface d'un corps, il n'est plus nécessaire, bien entendu, de procéder au modelage, mais si ce

corps n'est pas bon conducteur, il faut, comme dans le cas précédent procéder à sa métallisation et de plus il y a alors une nouvelle opération à faire, c'est le décapage de la surface. Il faut en effet, dans ce cas, éviter d'une façon absolue, l'interposition d'un corps étranger, qui suffit pour empêcher l'adhérence des deux métaux, en si petite quantité soit-il. Ordinairement, ce que l'on cherche surtout à éliminer, ce sont les oxydes et les corps gras, et pour arriver à ce résultat, l'on fait habituellement dissoudre les oxydes par des bains acides et les corps gras, par des solutions alcalines.

Quelque soit le travail que l'on se propose, argenture, dorure, nickelage, etc., l'opération se conduit toujours de même, seuls les bains employés diffèrent comme composition. Le cadre de ce travail, ne me permet pas de donner, ici, la nomenclature, ni la composition de ces bains, qui sont d'ailleurs eux-mêmes très variables, suivant les procédés dont on fait usage. Je ne ferai donc que les indiquer en passant.

Pour la dorure, les bains sont formés de cyanure double d'or et de potassium, et comme l'or a la propriété de se déposer en couches infiniment minces, il suffit d'un très court séjour dans le bain, donc la résistance est elle-même très faible ; ce qui force à ne pas dépasser 1 volt de tension à la source électrique.

Pour le platinage l'on se sert, comme bain, d'une solution de phosphate ammoniaco-platinique, dans du phosphate sodique, et dans ce cas il faut que le bain soit employé chaud et avec des courants très énergiques.

Pour l'argenture, les bains métalliques sont généralement formés de cyanures doubles d'argent et de potassium, ou d'une solution d'un iodure double d'argent et de potassium, ce dernier étant en excès. Dans le premier cas, la tension de la source ne doit pas dépasser 2 à 3 volts, et dans le second cas, le courant doit être aussi faible que possible afin d'éviter de mettre en liberté de l'iode. Les bains au cyanure quoique

plus dangereux que ceux à l'iodure sont cependant plus employés, et cela tient certainement à leur prix de revient qui est plus élevé.

Pour le nickelage, le nombre des bains dont on fait usage est considérable, et l'on pourrait presque dire que chaque opérateur à une composition qui lui sert et est différente de celle de son voisin, ce sont tantôt des mélanges de sulfates doubles de nickel et d'ammoniaque, et de carbonate d'ammoniaque, tantôt des chlorures doubles de nickel et d'ammoniaque ou bien des borates de nickel en solution alcaline. La force électro-motrice nécessaire doit être maximum en commençant pour diminuer au fur et à mesure que l'opération se complète; elle est primitivement de 5 volts pour baisser ensuite jusqu'à 1 volt, et ceci se comprend car le nickelage est toujours accompagné d'un fort dégagement d'hydrogène que l'on cherche à réduire autant que possible, ce qui force à pousser l'opération au début, pour recouvrir, le plus vite possible, toute la partie à nickeler, et aussitôt que le dépôt a pris une certaine épaisseur, l'on ralentit la source afin d'éviter justement l'inconvénient résultant de la production du gaz.

Dans l'étamage, les bains sont composés de solutions de pyrophosphate de soude et de protochlorure d'étain; ils doivent être maintenus dans un état constant de concentration.

Enfin, dans ces derniers temps, l'on a essayé d'obtenir des dépôts de fer par voie électrolytique, mais cette opération présente de très grandes difficultés, et jusqu'à présent, elle ne parait pas avoir donné de résultats satisfaisants. L'opération est très lente et il est excessivement difficile d'empêcher le fer d'adhérer au cuivre du moule. Le but que l'on s'était surtout proposé était la reproduction des clichés de billets de banque et des coins pour médailles et monnaies.

Le cuivrage des objets en fonte ou en fer tend à prendre une importance de plus en plus grande, et les essais à ce sujet ont été très nombreux, toujours est-il qu'actuellement l'on se trouve en présence de deux procédés qui sont assez répan-

dus dans la pratique. Les bains sont formés d'une solution de sulfate de cuivre, additionné d'acide sulfurique,.et l'on peut obtenir un dépôt de cuivre, soit adhérent, soit simplement superposé, c'est-à-dire, que si l'on opère avec des pièces soigneusement décapées, comme je l'ai indiqué plus haut, l'on obtient une adhérence complète entre les deux métaux, si au contraire l'on place entre eux une couche de vernis, ils ne sont plus que superposés.

A première vue, cette dernière manière d'opérer peut paraitre originale, aussi dois-je faire remarquer que dans le principe, le cuivrage de la fonte et du fer avaient surtout pour but d'éviter leur oxydation, or, si l'on place du fer et du cuivre en contact dans l'air humide le fer s'attaque encore plus rapidement que s'il était seul, et cela est facile à comprendre, car en juxtaposant ces deux métaux, l'on ne fait pas autre chose que de constituer un élément de pile dans lequel le cuivre est le pôle positif, et le fer le pôle négatif, dans ces conditions l'oxygène de l'eau contenue dans l'atmosphère vient se fixer sur le fer et l'attaque ainsi d'une façon continue. L'effet de la pile en s'ajoutant ainsi à celle de l'air, a pour résultat d'aller juste à l'inverse du but que l'on se proposait, et c'est précisément pour obvier à cet inconvénient que l'on a eu l'idée de séparer ces deux métaux. Toutefois je dois dire que ce dernier système n'a pas donné d'aussi bons résultats que l'on s'y attendait, car la couche de cuivre ainsi séparée du fer, ne présente pas une bien grande solidité, elle se déchire facilelement et exige des réparations continuelles.

Jusqu'ici nous avons passé en revue quelques unes des branches de la galvanoplastie, en faisant abstration de la façon dont on produisait le courant électrique, voyons maintenant quelles conditions doit remplir ce dernier. Tout d'abord et comme principe même de ce qui va suivre, je dois faire remarquer que les opérations de galvanoplastie exigent l'emploi de courants continus, ce qui limite le choix des appareils générateurs, car ne pouvant employer des sources suscepti-

bles de fournir des courants alternatifs, nous n'avons donc à notre disposition que les piles ou les machines à courant continu.

Les piles ont été très employées jusque dans ces dernières années et elles existent même encore dans les petites installations, mais lorsqu'il s'agit d'opérations ayant une certaine importance, l'on a maintenant recours au machines électriques. Dans le chapitre des généralités et en parlant des différents modes employés pour leur excitation, j'ai fait remarquer que pour ces opérations l'excitation en tension ne pouvait être adoptée par suite de la facilité avec laquelle se produisait le renversement des pôles dans ce genre de machine. La plupart des lois générales qui régissent les dynamos ordinaires, sont applicables aux machines à galvanoplastie, je n'y reviendrai donc pas, mais je rappelle que tous les bains, dont j'ai parlé plus haut, demandent une très faible force électro-motrice, ces dynamos seront surtout caractérisés par la production de courants très intenses, mais d'une tension très faible comparativement à celles que nous avons vues employer pour l'éclairage électrique ou les transports de force. Quant au système de la dynamo, à sa force électro-motrice et à son intensité, ils sont variables, bien entendu, suivant les cas, et d'après le travail que l'on veut obtenir. Toutefois, je le répète, les machines électriques constituent les seuls générateurs vraiment économiques pour les applications de la galvanoplastie.

Il existe des règles mathématiques que l'on peut trouver dans tous les ouvrages spéciaux et qui permettent de se guider dans la recherche des conditions économiques dans lesquelles l'on doit se placer pour obtenir les meilleurs rendements dans les opérations électro-chimiques, mais il ne faudrait pas prendre ces formules comme absolument fixes et invariables, elles ne font en réalité que déterminer les limites entre lesquelles l'on devra opérer, quant à la détermination exacte, elle est mathématiquement impossible, en ce sens qu'il y a dans cas une grande différence entre les résultats de la

pratique et les chiffres donnés par la théorie, et l'expérience seule est le véritable guide des opérations galvanoplastiques. Quoiqu'il en soit, examinons maintenant les diverses parties accessoires d'une installation.

J'ai dit que la force électro-motrice de la source devait être très faible, et la conséquence forcée de cette nécessité, est l'emploi de conducteurs peu résistants, c'est-à-dire ayant la plus grande section possible afin d'éviter les pertes dues à la résistance.

Le courant une fois produit est donc canalisé et conduit aux électrodes, au moyen d'un fil de faible résistence ; l'on nomme électrodes, les deux surfaces entre lesquelles s'exerce l'action du courant, et pour bien les distinguer l'une de l'autre, l'on nomme anode, l'électrode qui correspond au pôle positif, et cathode celle qui se rattache au pôle négatif. Généralement, l'on donne aux anodes une surface à peu près égale à celle des objets qu'il s'agit de recouvrir, quant à la position relative des deux électrodes, elle n'est pas non plus indifférente, car, si l'on place deux surfaces parallèlement en face l'une de l'autre, l'épaisseur du dépôt obtenu, n'est pas égale en tous ses points et il est facile de remarquer que le métal se dépose toujours en plus grande quantité à la partie inférieure de la cathode, sans doute, par suite de la densité plus grande du liquide qui est par conséquent plus conducteur au fond de la cuve et ceci explique la nécessité où l'on se trouve de remuer les bains et de changer assez souvent la position des pièces dans le liquide.

Dans l'industrie, la forme et la nature des objets sur lesquels l'on opère, ne permet pas de régler tous les bains de la même façon et cela d'autant plus que la nature dés liquides n'est pas toujours identique, aussi, la disposition qui s'impose comme mode de distribution du courant, est la dérivation dans laquelle l'on donne aux différents conducteurs qui amènent le courant, des diamètres proportionnés au travail à produire.

La nature de certains électrolytes et la rapidité de leur dépôt,

sont influencés par la température des bains, et l'on est ainsi amené quelquefois à chauffer ces derniers. Il est évident qu'un grand nombre de moyens peuvent être employés pour arriver à ce résultat, mais à l'exclusion du chauffage direct par la vapeur, encore appelé barbottage, car l'on conçoit que dans le cas, la condensation diminuerait le degré de concentration du bain et ne permettrait plus de savoir exactement à quel point l'on en est.

Les données précédentes permettent de se faire une idée sur les opérations de la galvanoplastie, quant au travail même, comme je l'ai déjà dit, l'expérience est le meilleur et le plus sûr de tous les guides, c'est le seul qui indique les tours de main et les ficelles de métier qui permettent d'arriver plus sûrement au résultat que l'on recherche.

L'Électro-métallurgie. — L'Électro-métallurgie a pour but l'extraction des métaux de leurs minerais au moyen de l'électricité ; c'est-à-dire que l'on commence à traiter le minerai de façon à obtenir un sel soluble, puis à électrolyser ce dernier de façon à en précipiter tout le métal, et à ce sujet je crois devoir rappeler les lois suivantes qui peuvent donner une idée sur la façon dont l'opération doit être conduite, suivant le résultat que l'on veut obtenir.

1° Si l'hydrogène se dégage librement au pôle négatif, le précipité obtenu sera pulvérulent.

2° Quant le pôle négatif ne produit pas de dégagement d'hydrogène, le dépôt est cristallin.

3° Le dépôt sera métallique et jouira de toutes les propriétés voulues de ductibilité et de malléabilité, si le rapport entre l'intensité du courant et la force de la dissolution est tel qu'il n'y ait pas de dégagement d'hydrogène, mais que l'on soit aussi près que possible du moment où ce dégagement commencerait à prendre naissance.

L'on voit donc par ce qui précède que le principe même des

opérations est assez délicat, et en fait, les impuretés qui accompagnent le métal, sont encore une difficulté de plus pour la bonne réussite, aussi cette manière d'opérer a-t-elle beaucoup de détracteurs, qui ont sans doute oublié que dans les débuts d'une entreprise nouvelle, il est plus sage de s'attendre à des déboires qu'à des résultats parfaits, ce n'est que peu à peu et lorsque la pratique journalière aura bien précisé la voie à suivre que l'on pourra se faire une idée suffisamment exacte sur les conséquences probables de cette branche de l'électro-chimie.

Au nombre des minerais qui ont été déjà traités par voie électrolytique, il faut citer la blende ou minerai de zinc, et voici le principe de l'opération : La blende étant un sulfure de zinc, l'on commence par lui faire subir un grillage à une température modérée, de façon à favoriser la combinaison de l'oxygène de l'air avec le sulfure pour obtenir un sulfate de zinc. Cette opération se fait dans un four à réverbère ou dans un four à cuve, et s'il se produit un dégagement de vapeurs sulfureuses, l'on utilise ces dernières en les envoyant sur de la blende humide de façon à déterminer la formation de sulfite de zinc, qui se change bientôt en sulfate sous l'influence oxydante de l'air. Après ces opérations, le minerai est placé dans des bassins, où l'on dissout le sulfate de zinc formé, et c'est sur la solution ainsi obtenue que l'on fait agir le courant électrique.

Pour cela, le liquide est placé dans une série de bassins étagés, dans lesquelles la solution abandonne son zinc et se charge d'acide au fur et à mesure du travail, et c'est le liquide acide ainsi formé, qui reste comme résidu d'une opération et sert pour la suivante à obtenir la dissolution de zinc pour être traitée à nouveau par l'électrolyse et recommencer ensuite le même cycle d'opérations.

Le courant électrique est fourni par une machine à galvanoplastie, les anodes sont en plomb, les cathodes en zinc, et dans ce cas, les bains sont réunis en tension, leur nombre étant proportionné à la puissance de la machine.

Enfin dans ces applications, il est avantageux de disposer d'une force électro-motrice un peu supérieure à celle théoriquement nécessaire, afin d'éviter le renversement des pôles de la dynamo, dans le cas où sa vitesse viendrait à diminuer, et d'un autre côté, l'expérience a prouvé qu'il était préférable de pécher par insuffisance, plutôt que par excès de surface des électrodes, car dans le dernier cas, les cathodes se recouvrent inégalement de métal, et le zinc serait vigoureusement attaqué par le bain, par suite de la formation d'éléments locaux, dans lesquels le métal attaqué, est précisément le Zinc,

Le procédé que je viens de décrire offre un inconvénient notable, c'est la dépense qui devient très élevée, par suite de l'emploi des anodes insolubles, car dans ce cas, aucune action chimique ne vient aider l'opération, et tout le travail doit être produit par la machine, dont la consommation augmente en conséquence, l'on a donc cherché à diminuer les prix de revient en employant des anodes solubles, et dans ce dernier cas, voici les faits sur lesquels on s'est basé pour arriver au résultat cherché.

L'on est d'abord parti de ce point, que tous les minerais sulfurés, convenablement agglomérés, sont bons conducteurs du courant, même lorsqu'ils renferment une assez forte proportion de gangue ; l'on a donc aggloméré par la pression des minerais préalablement réduits en grains de 5 $^{m}/_{m}$ et ce sont les plaques ainsi préparées qui sont alors employées comme anodes dans le bain. Quant à la formation des bains, leur principe est le suivant. Si l'on électrolyse une solution d'un sel dont l'acide attaque les sulfures naturels, en employant ces derniers comme anodes, le métal du sulfure se dissout, tandis que le soufre reste déposé sur l'anode, et comme c'est avec les nitrates que l'opération se fait le mieux, ce sont ces derniers sels qui ont été employés. Ainsi pour la galène, l'on se sert de nitrate de plomb, pour la blende, de nitrate de zinc. Dans ces conditions, les cathodes sont formés de métaux insolubles dans les bains dont on fait usage, et la sur-

face des électrodes est aussi grande que possible. La dépense de force motrice paraît être moindre avec ce procédé qu'avec le précédent.

En outre du traitement direct des minerais pour l'extraction du métal qu'ils contiennent, l'électrolyse est encore employée pour le raffinage des métaux, et parmi ces derniers, le cuivre et le plomb ont été surtout traités par la voie électrique. L'opération se simplifie et se réduit alors à un simple traitement galvanoplastique, caractérisé surtout par ce fait que, ce que l'on recherche, c'est plutôt la quantité que la beauté du dépôt. Le bain est formé par un sel de même nature que le métal a purifier, qui est alors placé par plaques et comme anode dans le bain ; la cathode est une plaque mince de métal pur. Les électrodes ont alors la plus grande surface possible, et leur écartement est réduit au minimum.

Afin de permettre de se faire une idée sur ces procédés, je décrirai ici, très brièvement, l'un de ceux qui ont donné les meilleurs résultats, et dans cet ordre d'idées, le métal le plus intéressant, et celui qui a donné lieu aux travaux les plus nombreux, est surtout le cuivre. C'est donc son traitement que nous choisirons comme type.

Les minerais de cuivre pyriteux sont des composés très complexes, qui renferment en outre du cuivre, du plomb et de l'argent, et généralement, l'on commençait par faire subir au mélange, un traitement qui avait pour but d'en séparer l'argent. Pour cela, le minerai était d'abord grillé avec des scories provenant de la fusion des galènes argentifères, et l'on obtenait ainsi une matière cuivreuse, qui était grillée à fond plusieurs fois, de façon à augmenter sa richesse en cuivre, et à amener le minerai à une contenance de 65 à 70 °/o de cuivre. Le produit ainsi obtenu, porte alors, le nom de cuivre noir, et l'on en extrait l'argent par coupellation, en opérant comme
Le cuivre noir, après avoir été porphyrisé est mélangé avec
pyrites de fer et 12 °/o de sel marin, puis on l'étend
ole d'un four à réverbère, chauffé seulement au rouge

sombre, il se forme alors des sulfures de fer, de cuivre et d'argent; à la fin de l'opération, l'on pousse le feu, et le sel marin transforme alors ces sulfures en chlorures. Le produit ainsi obtenu est broyé, puis introduit dans des tonneaux tournants avec des globules de cuivre noir, qui ramène le perchlorure à l'état de chlorure, et décompose même en partie, le chlorure d'argent, on ajoute alors du mercure qui s'empare de ce dernier métal, et l'on soumet l'amalgamme à la distillation.

L'on voit donc par ce qui précède, que dans l'ancien procédé, le premier traitement que l'on faisait subir au minerai, avait pour but d'en extraire primitivement l'argent, le cuivre se trouvant dans les résidus de l'opération. Dans la méthode par voie électrolytique, au contraire, l'on extrait d'abord le cuivre et c'est l'argent qui reste parmi les résidus.

Voici d'ailleurs comment l'on procède :

L'on commence par former avec le minerai à traiter, une plaque que l'on place comme anode dans un bain formé par un sel de cuivre, et dont la cathode est formée par une plaque de même métal à l'état de pureté, et l'on soumet à l'action du courant. Dans ces conditions, il est facile de voir que le fer va se dissoudre pour donner un sulfate, le cuivre se précipitera à la cathode, et les métaux insolubles ou peu solubles tels que le plomb, le bismuth et l'argent, resteront dans le précipité boueux formant le résidu de l'opération.

Ici, il est évident que les anodes étant solubles, le travail fourni pour la machine servira uniquement à vaincre la résistance électrique du bain, et d'un autre côté, l'oxydation du sulfure et sa transformation en sulfate donnent lieu à la naissance d'une force électro-motrice qui viendra naturellement s'ajouter à celle de la machine, de telle sorte que le travail pourra se faire avec une dynamo d'une puissance assez faible.

L'électrolyse se fait dans des bacs réunis en tension, de

manière à obtenir en les totalisant, une force électro-motrice moyenne, c'est-à-dire se rapprochant autant que possible des chiffres couramment employés dans la construction des dynamos.

Théoriquement, l'ampère devrait déposer 28 grammes de cuivre par 24 heures et par bain ; pratiquement, l'on obtient 80 à 85 °/₀ de ce poids, soit environ 24 grammes par watt et par journée de 24 heures, ce qui indiquerait dans le même temps, une production de 18 k^os^ par cheval, et en tenant compte du rendement de la dynamo, seulement 15 à 16 k^os^.

Dans l'industrie. l'on dispose généralement les appareils de façon à obtenir un dépôt de 4 à 500 grammes par mètre carré de cathode et en 24 heures ; l'on voit alors que ce procédé demande l'installation d'un grand nombre de bains, lorsque l'on veut opérer sur des quantités importantes. Il y a donc là une dépense de premier établissement qui est très considérable, et si l'on remarque, en outre, que la valeur de la matière mise en œuvre est, elle-même, très élevée, il s'en suit que le raffinage électrolytique exige des capitaux considérables pour les usines qui l'emploient. C'est là, sans doute, la cause principale qui a empêché jusqu'ici ce procédé de prendre une extension plus grande.

L'électro-chimie a encore permis l'extraction et la fabrication industrielle de l'aluminium ; ce dernier métal ayant acquis une importance de plus en plus remarquable, je vais exposer ici très brièvement le principe des différents procédés électrolytiques employés pour son traitement.

Le véritable mode opératoire est dû à Cowles de Cleveland (Ohio) qui a fondé sur son principe une industrie très importante, fournissant à l'Amérique des alliages d'aluminium qui sont vendus à des prix très bas, si on les considère à ceux en cours sur le continent. L'usine établie à Lockport (New-York) a atteint rapidement une grande renommée pour ce genre de

travail, et sa prospérité a encouragé les propriétaires à en monter une semblable à Stoke-on-Trent en Angleterre.

Je dois tout d'abord remarquer que la grande difficulté que l'on a toujours rencontré dans le travail de l'aluminium est son oxydabilité excessive, qui rendait sa fabrication à l'état pur à peu près impossible, ou tout au moins, imposait des prix de revient très élevés. M. Cowles a commencé par tourner la difficulté ; comme ce métal n'est jamais employé seul, mais très souvent à l'état d'alliages avec le cuivre ou le fer, ce sont ces derniers que l'on a cherché à obtenir du premier coup.

Le principe de l'opération est le suivant. Le minerai est réduit par le charbon en présence de fer ou de cuivre, suivant l'alliage à obtenir et l'on fait intervenir pendant l'opération l'influence d'un courant électrique.

L'on charge donc dans des fours rectangulaires un mélange de 70 k^{os} de cuivre et 40 k^{os} de minerai que l'on place au milieu de l'espace libre, puis les deux extrémités sont remplies de poussier de charbon de bois, et l'on recouvre le tout de charbon de bois granulé, afin de laisser s'échapper les gaz produits pendant la réaction. L'on ferme alors le four par une plaque de fonte que l'on lutte avec de la terre, cette plaque est percée d'une seule ouverture pour l'échappement du gaz. A chaque extrémité des fours est un tuyau dans lequel se meut à frottement doux, une sorte de piston en cuivre, dans lequel sont encastrées les électrodes que l'on dispose tout d'abord à 5 ou 6 centimètres l'une de l'autre. Le tout étant disposé comme je viens de l'indiquer, l'on commence par envoyer le courant électrique dans le four. Il se produit alors une effervescence très vive et de courte durée, ensuite le dégagement gazeux se ralentit, prend une marche uniforme, puis les gaz s'enflamment au contact de l'air. Après un certain temps de marche, lorsque la charge est devenue très chaude, on éloigne les électrodes peu à peu, de façon à maintenir la résistance constante. Après environ 1 h. 1/2 à 2 h. de

marche, l'opération est terminée, l'on arrête le courant, laisse refroidir le four et on le vide. Le bronze ainsi obtenu varie en qualité suivant les cas et sa teneur en aluminium, peut osciller entre 12 et 20 °/₀ il est dit bronze riche, et avant d'être livré au commerce on le refond et l'on ajoute du cuivre à la composition de façon à obtenir un alliage réunissant certaine qualités de résistance, de ténacité et d'allongement qui varient suivant les marques et les numéros.

Dans le procédé tel que je viens de l'exposer, l'on s'explique mal l'influence de l'électricité, il ne semble pas y avoir véritablement un électrolyse, car les résultats obtenus ne concordent pas avec ceux indiqués par la théorie dans ce cas. et l'on est porté à croire qu'il n'y a eu en réalité qu'une simple dissociation due à la haute température développée par le courant.

En outre de la méthode précédente, il existe encore plusieurs procédés de fabrication de l'aluminium dans lesquels l'on emploie la voie électrique.

L'un d'eux qui consiste dans l'électrolyse d'un sel d'aluminium fondu est exploité à Creil par la maison Bernard Frères

Le bain est formé d'un mélange de 30 à 40 °/₀ de fluorure d'aluminium et de sodium, et de 60 à 70 °/₀ de chlorure de sodium ; la température de ce bain est d'environ 800° ; dans ces conditions, l'électrolyse se fait à 5 volts, et un cheval-vapeur peut produire pratiquement de 26 à 30 grammes d'aluminuium.

Le troisième procédé de fabrication de l'aluminium est dû à M. Héroult, et est appliqué en grand par la société métallurgique Suisse, dans son usine de Neuhausen, près Schaffouse, où la production journalière est de 300 k°ˢ d'aluminium ou 3000 k°ˢ de bronze à 10 °/₀

L'appareil Héroult consiste en un creuset de charbon reposant sur une forte plaque de même matière. Ce creuset est

placé au centre d'un four dont l'intervalle est rempli de poussière de charbon.

Dans l'intérieur du creuset est un gros charbon amenant le courant positif — le pôle négatif est relié à l'appareil par l'intermédiaire de la plaque.

Le bain formé de cryolithe est amorcé par une certaine quantité de cuivre, et alimenté d'alumine sèche. Par le passage du courant ; l'alumine fond, se décompose, l'aluminium s'unit au cuivre pour former du bronze d'aluminium, l'oxygène se porte sur le charbon positif et donne ainsi naissance à de l'oxyde de carbone qui brûle à sa sortie du creuset avec une magnifique flamme d'un blanc éblouissant par suite des particules de métal qui se trouvent entraînées.

Par ce procédé, les bronzes obtenus sont très riches, 25 à 30°/. d'aluminium, et ils sont alliés à 5 fois leur poids de cuivre avant d'être livrés au commerce. A l'usine de Schaffouse, l'électricité est fournie par deux dynamos Brown fournissant un courant de 6000 ampères à 20 volts ; elles sont excitées par une machine séparée, et sont actionnées par une turbine Jonval de 300 chevaux.

Ascenseurs électriques. — En outre des applications que nous venons d'étudier brièvement, et qui, pour la plupart, constituent de véritables industries, l'électricité a encore été employée dans bien des cas particuliers, qui, bien que moins importants que les précédents, ont cependant rendu des services très nombreux ; ils sont, en outre, très intéressants à connaître, en ce sens qu'ils sont appelés à une plus grande extension, le jour où mieux étudiés, ils pourront être appliqués d'une manière plus certaine, et débarrassés des tâtonnements inhérents aux essais d'un procédé nouveau. Parmi ces applications, l'une des plus curieuses et aussi celle qui a jusqu'ici donné les résultats les plus favorables, est la mise en mouvement des ascenseurs au moyen de l'électricité. Il est vrai que l'on pourrait ramener cette appli-

cation et la classer parmi les transports de force, elle en diffère, car elle est en réalité, plus compliquée qu'un simple transport ; pour s'en rendre compte, il suffit d'examiner les conditions dans lesquelles l'on doit se proposer d'opérer, et pour fixer les idées, je prendrai comme type, l'appareil Chrétien tel qu'il a fonctionné à l'Exposition universelle. Je rappelle tout d'abord que ces appareils étaient destinés à monter les voyageurs jusqu'aux sommets des deux pylones situées aux angles du palais des machines.

Le problème était celui-ci :

Utiliser le courant d'une dynamo située à distance pour manœuvrer l'ascenseur de telle sorte qu'à partir du moment de la mise en marche, la vitesse croisse insensiblement, jusqu'à un certain maximum, qui sera ensuite maintenu pendant la majeure partie du trajet, puis diminuera progressivement, jusqu'à devenir nulle à la fin de la course.

La variation graduelle de la vitesse est obtenue par l'introduction ou la suppression de résistances échelonnées en haut et en bas de la course.

Pour arriver à ce résultat, l'on avait disposé verticalement dans toute la hauteur du pylone, quatre fils conducteurs dont l'un venait de la machine génératrice, l'autre communiquait avec les inducteurs des moteurs et les deux derniers étaient reliés aux balais de chacune des réceptrices.

Le fil amenant le courant de la génératrice était tronçonné à chacune des extrémités supérieure et inférieure sur une certaine hauteur, et les fragments étaient reliés entre eux par des résistances disposées de telle sorte que la dernière partie du fil était parfaitement isolé, le circuit se trouvait donc rompu lorsque les frotteurs reliés à la cabine venaient à toucher sur cette portion, c'était le moment de l'arrêt.

La cage était équilibrée par deux contre-poids, et dans ces conditions lorsqu'elle contenait cinq personnes, il suffisait pour la faire monter ou descendre, de vaincre les résistances

de frottement. La charge maxima correspondait à '8 voyageurs, et la vitesse moyenne était de 1,20 à la sconde.

Je ne puis entrer ici plus longuement dans les détails de construction de cet appareil, j'ai tenu simplement à vous le signaler pour montrer quels services peut rendre l'énergie électrique entre des mains habiles et sachant en tirer un parti utile.

Préparation des composés du chlore, par les procédés Hermitte. — Blanchiment électrique. — Désinfection des eaux d'égout. — Pour terminer cette liste déjà longue des applications de l'électricité, j'appellerai votre attention sur quelques idées nouvelles, et d'autant plus intéressantes, que les premiers essais pratiques à leur sujet, ont été faits dans notre ville. Je veux citer :

1° Les procédés Hermitte pour la préparation des composés chloreux.

2° Le procédé Naudin pour la désinfection des alcools.

Pour préparer les dérivés du chlore, M. Hermitte décompose par l'électrolyse une solutíon de chlorure de magnésium au vingtième. Sous l'action du courant électrique, il s'établit une double décomposition portant à la fois sur les éléments constitutifs du sel en suspension et du liquide dissolvant. Le chlore du sel et l'oxygène de l'eau se portent au pôle positif, et se combinent pour donner naissance à un composé oxygéné qui parait être de l'acide hypochloreux, tandis que l'hydrogène et le magnésium se rendent au pôle négatif où le gaz est mis en liberté, pendant que le métal décompose l'eau, pour donner naissance à de la magnésie, et que l'hydrogène provenant de cette dernière réaction se dégage.

Ce procédé qui, dans l'idée de son auteur, devait avoir pour principale application le blanchiment, n'a jusqu'ici, reçu qu'un nombre restreint d'applications, et celles qui ont donné

le meilleur résultat, ont été faites pour le blanchiment des pâtes à papier. La principale dans cet ordre d'idée, est celle faite à la papeterie d'Essonnes.

Les électrodes négatives sont constituées par un certain nombre de disques en zinc, entre lesquels sont disposées les électrodes positives formées de toile de platine encastrée dans des cadres en ébonite. Toutes les électrodes positives sont reliées à une même tige de cuivre, par l'intermédiaire de petites lames de plomb, et la tige est en communication avec le pôle positif de la machine électrique. Toutes les électrodes négatives sont reliées avec la cuve à électrolyse qui est en fonte, et le courant, en arrivant par les toiles de platine, traverse le liquide pour se rendre sur les disques de zinc, et de là, retourner à la dynamo par l'intermédiaire de la cuve.

Dans ces conditions, la réaction que j'ai signalée plus haut, se produit sous une différence de potentiel de 6 à 7 volts, et il est remarquable que le blanchiment de la pâte se produit beaucoup plus rapidement qu'avec l'ancienne méthode au chlorure calcique. Probablement qu'en dehors de l'acide hypochloreux, il se produit dans cette réaction des composés beaucoup plus nombreux et surtout plus actifs. qui accélèrent la décoloration. D'un autre côté, le chlore à l'état naissant, tel qu'il se produit ici, jouit de propriétés beaucoup plus énergiques comme décolorant, il faut bien admettre qu'il se produit par l'électrolyse des réactions plus complexes qu'on ne pourrait le croire tout d'abord, car certaines matières textiles, telles que le jute, par exemple, qui jusqu'ici, étaient demeurées réfractaires à l'action du chlorure de chaux, se blanchissent parfaitement par le procédé électro-chimique. Il est évident que dans ces conditions, l'on a dû chercher à appliquer le procédé Hermitte au blanchiment des fibres textiles et c'est en effet ce qui est arrivé, mais là, se sont présentées certaines difficultés d'application qui ont retardé un peu la mise en pratique de cette idée. Toutefois, aujourd'hui l'on paraît plus certain de la réussite, et je dois dire qu'un essai

doit être tenté prochainement sur une grande échelle par un établissement de nos environs.

La troisième application du procédé Hermitte a pour but la désinfection des eaux-vannes, le principe est le même que celui qui a servi de base au blanchiment, et le mode opératoire n'est qu'une variante du précédent ; seulement ici, l'électrolyte employé n'est plus le sel magnésien, dont le prix d'achat est trop élevé ; il a été remplacé par le chlorure de sodium ou sel marin.

Les expériences faites à Rouen dans ces derniers temps, ont donné dans ces conditions, des résultats moins favorables qu'on avait paru s'y attendre. Est-ce la cause de l'installation volante faite à ce sujet, et n'ayant pas, par conséquent, tous les avantages que l'on peut demander à une usine fixe, serait-ce par ce que le sel marin se prêterait moins bien à l'électrolyse que le chlorure de magnésium, nous ne pouvons rien donner d'absolu à ce sujet, et il est sage d'attendre une application plus sérieuse avant de se prononcer.

Puisque je suis sur la question de désinfection des eaux-vannes, laissez-moi vous rappeler brièvement un procédé tout-à-fait différent de celui Hermitte, bien qu'il soit, comme ce dernier basé sur l'électrolyse ; c'est le procédé Webster. Ici, l'électrolyse du liquide à désinfecter se produit entre des électrodes de fer. Ce métal est dissous, et en se combinant sous forme d'hypochlorite, avec les matières en suspension, il les coagule sous forme de flocons. Le liquide est alors écoulé dans un réservoir où les matières ainsi coagulées tombent au fond, et après un certain temps de repos, il peut être décanté. Comme il facile de s'en rendre compte de prime abord, l'infériorité de ce procédé sur celui Hermitte réside précisément dans la nécessité où l'on se trouve de laisser la masse reposer pour la décanter ensuite. Si l'on opère sur une petite échelle, l'inconvénient n'est pas capital, mais si l'on était obligé de

traiter de la sorte quelques centaines de mille mètres cubes, il en serait tout autrement.

Quoiqu'il en soit, le procédé Webster et celui Hermitte sont deux points de départ, les idées qui leur ont servi de base sont rigoureusement exactes au point de vue théorique, et avec de l'opiniâtreté et de la persévérance, il n'est pas douteux que leurs auteurs n'arrivent à les modifier et à leur donner une simplicité qui en feront des agents de désinfection très actifs et par conséquent très employés.

Désinfection des alcools par l'électrolyse.— Tout le monde sait que la totalité de l'alcool commercial provient d'une seule et unique source, la fermentation alcoolique des sucres.

Toute matière première contenant de l'amidon saccharifiable, ou un sucre fermentescible, est apte à servir à la fabrication de l'alcool, et le choix du produit initial le plus avantageux dépend surtout des conditions économiques et locales. Mais l'alcool se prépare toujours en dernière analyse, par la distillation d'un liquide sucré préalablement fermenté. Dans nos contrées, les alcools industriels sont presque toujours des alcools de grains, mais alors la fermentation est précédée d'opérations destinées à former la matière sucrée fermentescible aux dépens de la substance amylacée, c'est-à-dire que l'on ramène toujours cette dernière à avoir la composition générale des glucoses $C^6 H^{12} O^6$ dont la formule montre qu'ils peuvent se scinder en alcool et acide carbonique d'après l'équation suivante :



$$C^6 H^{12} O^6 = 2 CO^2 + 2 C^2 H^6 O$$

Quelque soit la matière première employée, lorsqu'un jus sucré ou une matière amylacée est prête à subir la fermentation, elle porte dans l'industrie le nom de *moût*, et après la fermentation, celui de *vin*. Elle présente alors une richesse alcoolique qui peut varier entre 5 et 15° suivant le genre de moût dont on a fait usage.

Les vins subissent d'abord une première distillation destinée à augmenter leur richesse alcoolique ; le résultat de cette première distillation est un liquide marquant de 45 à 80° à l'alcoomètre de Gay-Lussac et prend alors le nom de *flegme*.

Pour obtenir l'alcool commercial, il faut faire subir à ces flegmes une nouvelle rectification dont le résultat est un liquide de qualité variable, suivant qu'il distille à un point d'ébullition plus ou moins élevé. Ainsi :

Au commencement de l'opération, l'on a les alcools dits mauvais goût de tête, puis les alcools moyen goût de tête. Au milieu, distillent les alcools bon goût. Et vers la fin. les alcools moyen goût de queue, ensuite les alcools mauvais goût de queue, et finalement les huiles essentielles qui ne sont, en réalité, autre chose que des homologues supérieurs de l'alcool éthylique.

Il est, somme toute, assez facile de se rendre compte de ces subdivisions, si l'on considère qu'en outre de l'alcool vinique, il se produit, pendant la fermentation alcoolique des quantités plus ou moins considérables d'alcools propyliques, butyliques et amyliques, qui prennent naissance dans des conditions encore mal déterminées, et qui communiquent à l'alcool des propriétés désagréables au point de vue du *bouquet*. Il est évident que la composition de ces huiles varie avec la nature des moûts, mais il est remarquable qu'elles ne prennent naissance que lorsque la fermentation s'effectue à une température élevée, dans une solution de sucre concentré, et en l'absence de l'acide tartrique. Ainsi, un liquide fermentant à une basse température, ne fournit pas d'huile odorante, du moins d'alcool amylique, qui d'ailleurs, ne se trouve jamais dans le vin qui a fermenté en présence d'acide tartrique.

Il y a donc une partie des huiles odorantes qui passe avec l'alcool et ne peut en être séparée qu'avec une très grande difficulté et c'est précisément la présence de ces homologues supérieurs de l'alcool éthylique qui donnent à une partie du

jet de la distillation de cette dernière, le mauvais goût que l'on constate dans les alcools de tète et de queue.

Les moyens employés ou proposés dans ces derniers temps pour obtenir des alcools *bon goût* peuvent se classer en en deux grandes catégories, suivant la façon dont ils agissent. Ainsi l'on a :

1° Les moyens physiques qui sont les plus anciens et qui comprennent les charbons absorbants, les huiles et les appareils rectificateurs.

2° Les moyens chimiques qui sont excessivement nombreux et qui pour la plupart ne faisaient que déplacer les huiles odorantes pour y substituer des dérivés aromatiques dont quelques-uns étaient certainement aussi nuisibles que le produit que l'on avait cherché à éliminer. Ainsi, l'on a surtout fait usage de corps oxydant, tele que les hypochlorites, l'acide nitrique, les permanganates, les chromates, les oxydes, les chlorures, bromures ou iodures métalliques, il faut reconnaître que la plupart détruisaient bien les mauvais goûts des flegmes, mais presque tous dépassaient le but, et au lieu de s'arrêter à l'oxydation des corps étrangers, ils poussaient leur action jusque sur l'alcool même et donnaient ainsi naissance à des éthers dont les odeurs aromatiques étaient trop facilement reconnaissables. Ainsi, l'acide azotique donnait naissance à de l'éther nitrique, dont l'odeur bien facile à reconnaître, décelait la présence ; les hypochlorites donnaient du chloroforme, et les permanganates des aldéhydes et des acides $C^n H^{2n} O^2$, tels que l'acide valerique, par suite de l'oxydation de l'alcool amylique.

Il est facile de voir par ce qui précède, qu'il existe très peu de procédés véritablement efficaces pour la désinfection des alcools et il ne faut donc pas s'étonner si, depuis longtemps déjà, l'on avait cherché à faire intervenir l'électricité dans le traitement des flegmes.

Dès 1873, Glastone et Tribe, avaient appelé l'attention des industriels sur les actions produites par un couple voltaïque

zinc-cuivre, disposé au sein du liquide à hydrogéner, ce dernier étant parfaitement neutre. Dans ces conditions, l'eau est décomposée, il se forme un oxyde de zinc et l'hydrogène est mis en liberté, et il est remarquable que si l'on fait agir un couple de ce genre sur des flegmes marquant 40 à 65° alcoométriques, on constate que l'hydrogène à l'état naissant est absorbé et que l'odeur et le goût particulier des flegmes disparaissent assez rapidement.

Ce procédé fut le point de départ des recherches entreprises par Naudin, pour l'emploi d'un procédé électrolytique industriel, pour la désinfection des flegmes.

Primitivement, le procédé Naudin avait pour base, l'application du couple zinc-cuivre ; ce n'est que plus tard, et pour arriver à un résultat économique plus parfait, que l'on fut amené à faire usage des machines électriques, surtout pour le traitement des eaux-de-vie de betteraves, pour lesquelles l'hydrogénation obtenue avec le couple zinc-cuivre atténue bien le goût caractéristique des flegmes, mais ne peut cepen-pas le faire disparaître complétement.

Voici comment l'on opère avec les machines électriques :

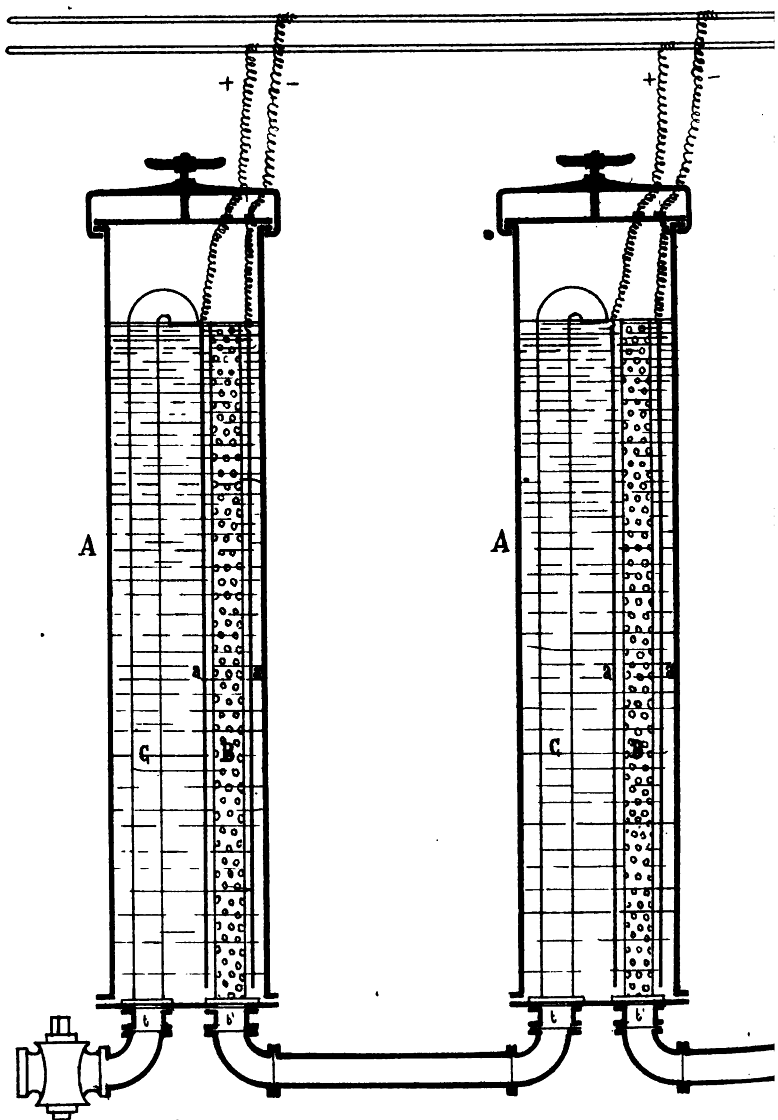
Après avoir séjourné sur un couple zinc-cuivre pendant le temps nécessaire pour en assurer l'hydrogénation, les flegmes sont acidulés d'un millième d'acide sulfurique, et envoyés dans un voltamètre semblable à celui représenté fig. 42. Cet appareil se compose d'un vase cylindrique A, muni de deux tubulures t et t' situées à la partie inférieure, servant, l'une à l'entrée du liquide, l'autre à sa sortie. A la partie supérieure l'appareil est hermétiquement clos et ne laisse passage qu'aux deux fils conducteurs du courant. Dans l'intérieur, se trouvent deux tubes B et C, dont le premier, percé de trous dans toute sa longueur, sert à l'arrivée des flegmes ; il est maintenu à une très petite distance des électrodes a a', par lesquelles le courant est distribué dans le liquide. Le tube C recourbé à sa partie supérieure en forme de siphon, sert à la fois à l'échappement des gaz produits, et à la sortie du liquide

qui se rend dans l'appareil suivant et ainsi de suite. Les flegmes subissent donc dans ce voltamètre l'action du courant électrique, et par suite de la décomposition des éléments de l'eau, il y a oxydation des produits donnant mauvais goût, qui avaient échappé à l'action du couple zinc-cuivre, et chose curieuse, cette réaction doit être suivie d'une hydrogénation, car il n'est pas possible d'isoler d'aldéhyde parmi les produits résultant de cette opération.

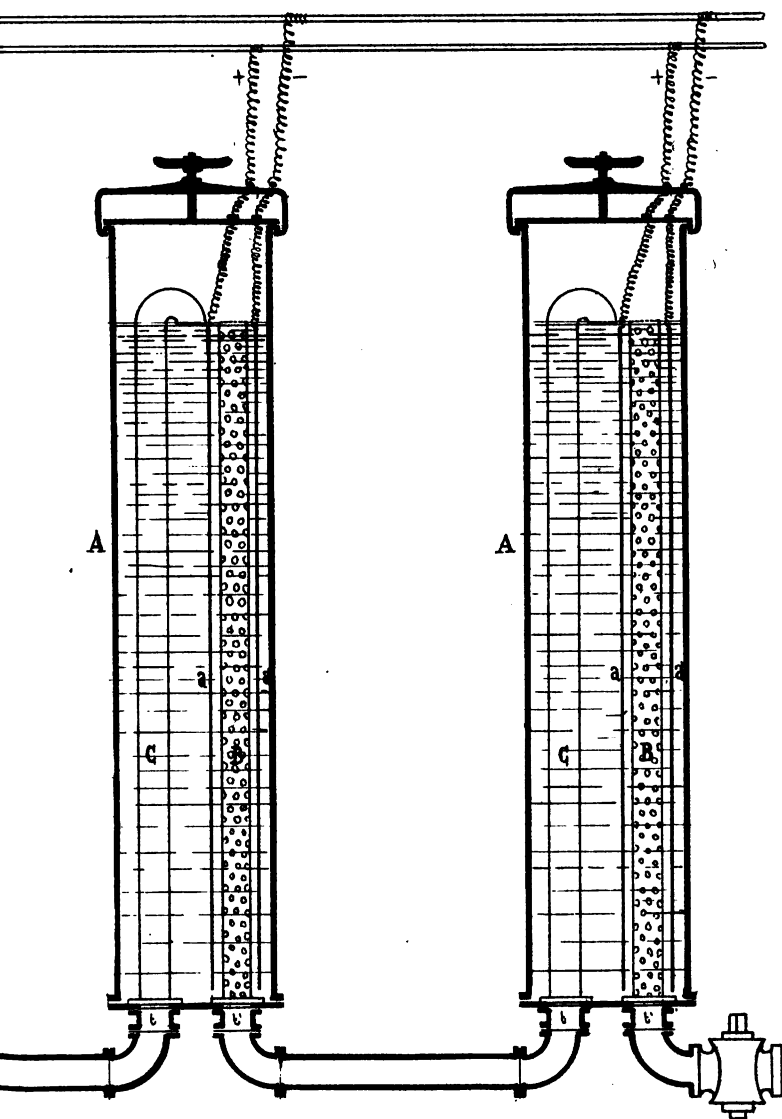
En sortant du voltamètre, les flegmes sont désacidulés par le zinc, puis dirigés dans le rectificateur à colonnes.

Ce procédé qui fut mis en usage en 1881, dans un établissement de notre région, a été peu à peu abandonné malgré les résultats favorables qu'il avait paru donner ; il faut sans doute, attribuer ceci à l'imperfection des appareils qui étaient employés à cette époque, où les machines électriques étaient loin de réunir les conditions économiques qu'elles présentent aujourd'hui, et peut-être aussi, à la disposition même des voltamètres qui étaient plutôt des appareils de laboratoire, que des électrolyseurs industriels. Quoiqu'il en soit, nous sommes persuadés que le principe du procédé Naudin était très rationnel, et s'il était repris sérieusement, en y apportant les perfectionnements qui se sont produits depuis cette époque, pour la production de l'électricité, si les essais étaient poursuivis sérieusement, il n'est pas douteux que l'on pourrait en faire, en y apportant quelques modifications, une méthode vraiment simple et industrielle de la désinfection des flegmes.

Je viens de passer en revue les principales applications de l'électricité, et il vous est facile de voir quels services considérables l'on peut demander à cet agent si subtile, toujours prêt à se plier aux exigences de la pratique. Malgré tout mon désir d'être aussi bref que possible dans l'énumération des faits que je viens de vous exposer, leur multiplicité m'a forcé cependant à faire de ce petit travail, je dirai presque un volume, et cependant, je n'ai tracé qu'à grands traits les princi-



Appareil NAUDIN pour l



électrolyse des flegmes.

pales applications. A côté de ces dernières, il y aurait à citer les mille et une assimilations que l'industrie s'est appropriée, et que l'on rencontre dans la pratique journalière, enfin, chaque jour vient amener son contingent de faits nouveaux, et ceci montre bien que la liste déjà longue des services que l'électricité a rendus à l'industrie, est destinée à s'étendre et à s'accroître sans cesse. Jusqu'ici, quelques procédés certainement très judicieux au point de vue de la théorie, n'ont cependant pas donné les résultats sur lesquels l'on était en droit de compter, la faute n'en est pas imputable à l'agent expémenté, mais, presque toujours, aux expérimentateurs, qui ont oublié trop souvent que l'on ne doit jamais essayer de confondre la théorie et la pratique, mais au contraire, toujours les faire se cotoyer d'aussi près que possible, de façon qu'elles se soutiennent réciproquement. D'un autre côté, il faut que la théorie guide la pratique, sans que cette dernière ne puisse jamais marcher seule, car dans ce cas, c'est marcher en aveugle.

Ne voulant pas terminer ce rapport par une critique, si légère soit elle, je tiens à vous faire remarquer ici, que la plupart des procédés que nous avons examinés, et que nous avons reconnus théoriquement bons, bien que n'ayant cependant pas donné des résultats aussi favorables que la théorie semblait devoir les indiquer, méritent cependant que l'on s'y arrête. Peut-être les retrouverons-nous un jour un peu modifiés, mais servant aussi de base à une industrie nouvelle. Là où la théorie dit oui, la pratique ne devra jamais dire non, il peut y avoir des entraves et des difficultés dans l'application, mais il n'y aura jamais d'obstacle insurmontable, le tout est de savoir les tourner, et si nous devons nous reconnaître trop faibles pour arriver à ce résultat, n'en concluons pas d'une façon formelle, que là où nous avons échoué, un autre plus fort ou plus adroit que nous, ne saura pas réussir.

En terminant, je ne souhaiterai pas du courage, ou même de la témérité aux chercheurs, en France c'est là de la mon-

naie courante, mais je leur souhaiterai de la ténacité, car c'est malheureusement ce qui leur manque le plus souvent. Si cette qualité avait toujours été essentiellement française, combien d'industries ne seraient pas allé s'échouer à l'étranger, après avoir eu notre pays pour berceau, et si nous voulions jeter un coup d'œil en arrière, nous pourrions constater que l'électricité n'a pas toujours échappé à ce sort malheureux.

TABLE DES MATIÈRES

Conditions que doit réunir une bonne installation d'éclairage électrique.

X

ACCUMULATEURS

TÉLÉPHONES

MICROPHONES

Installations téléphoniques

APPLICATIONS DIVERSES

Machines-outils électro-magnétiques.

Galvanoplastie

Electro-métallurgie

TABLE DES GRAVURES

Telephones

Téléphones

Imp. Benderitter, rue des Champs-Maillets, 11, Rouen.





